



八十九年度國科會/環保署科技合作研究計畫 期 末 報 告

光化學反應前趨物質排放特性及其對臭氧影響之研究  
The emission characteristics of ozone precursors and  
their effects on peak ozone concentration

計畫類別：☐個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：NSC89-EPA-Z032-001

執行期間：88年7月1日至89年12月31日

個別型計畫：計畫主持人：江旭程  
共同主持人：陳俊成

整合型計畫：總計畫主持人：  
(若為個別型免填)子計畫主持人：  
共同主持人：

執行單位：淡江大學水環系

中華民國 90 年 1 月 20 日

## 摘要

此一研究之主要目的為探討台灣地區人為及生物源光化學污染前驅物質排放的時間和空間分佈情形，並分析其對光化學污染事件之影響，以作為未來擬定污染管制策略之用。

在本研究中計算出台灣地區人為與生物源臭氧前趨物質排放的時空分佈，人為污染的排放清單採用 TEDS 資料庫，同時還自行發展一套方法利用衛星遙測資料求出生物源 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量。這些資料合併後求出模擬方格內各物種隨時間變化的排放量，作為光化學空氣品質模式的輸入資料。

本計畫中在台灣南北兩地各選一模擬區，每區由 1996 年的監測資料中各選出兩個事件日，對選定的個案利用中尺度氣象模式求出風場和亂流場，以推動三維尤拉光化學模式的計算。

此一研究中使用 CAMx 模式進行光化學污染模擬，結果發現北部地區兩個案例模擬結果相當合理。而南部地區兩個模擬案例所求出之地面臭氧濃度與空氣品質測站之測值比較皆呈現低估的現象，探討誤差產生的原因可能與風場有關或污染物的排放量不盡正確有關。

臭氧來源分析顯示生物源的影響較人為污染小。固定污染源和移動污染源對臭氧貢獻的比率隨地點而異，而且固定污染源對臭氧的形成大都為 VOC 控制，移動污染源對臭氧的形成則 VOC 和  $\text{NO}_x$  之重要性不相上下。利用臭氧等濃度線分析，發現台灣地區 VOC 的排放量須降低至 1996 年排放量推估值的 75%，才能將臭氧的尖峰小時濃度降低到 120ppb。

臭氧可由臨近縣市或其他空品區所輸入的前趨物質而產生，因此在擬定污染管制措施時最好能全島加以整體考量，以符合實際需求。

關鍵字：中尺度氣象模式、光化學模擬、模式驗證、臭氧來源分析、等濃度線、控制策略。

## ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the emission characteristics of ozone precursors and evaluate their effects on photochemical pollution in Taiwan area. The results of this study can be used to determine control strategies in the future.

The temporal and spatial distributions of emissions of ozone precursors emitted from both anthropogenic and biogenic sources were calculated. The source inventories of man-made pollutants were obtained from TEDS while a new method is developed to determine the biogenic emission rates for VOC and NO<sub>x</sub> by using AVHRR data. All these emission data are then merged to determine the temporal-varied emission rate for each modeling grids.

Two modeling domains were chosen for study in this project. One is located in northern Taiwan; the other is located in southern Taiwan. Two episodes were selected for each region according to the observations of 1996. A mesoscale meteorological model was used to calculate the wind and turbulent fields that are used to drive the computations of three-dimensional Eulerian photochemical model.

The concentrations distributions were calculated by using CAMx model. The performance of the model is pretty well in north region, however, the calculated ozone concentrations in south region were underpredicted when compared with observations. This is probably caused by the error in emission rates or wind fields.

According to the results of ozone source apportion technology, the effects of biogenic emission is small when compared with man-made pollutants. The contribution ratios for stationary sources and mobile sources are varied from location to locations. The production of ozone is VOC-limited for stationary sources, but it is limited by both VOC and NO<sub>x</sub> for mobile sources. The ozone isopleth analysis suggests that the emission of VOC in Taiwan must be reduced to 75% of the estimated emission rate of 1996 in order to reduce the peak hourly ozone concentration to 120ppb.

The ozone can be generated by the precursors transport from nearby counties, or even from another airsheds. It is a good practice to consider the emissions from whole island when the control strategies were made.

Keywords : mesoscale meteorological model, photochemical simulation, model validation, ozone source apportion, isopleth, control strategies

# 目 錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	III
圖目錄	V
表目錄	XI
期末自評表	X
第一章 前言	1-1
1.1 研究動機	1-1
1.2 文獻回顧	1-3
1.3 計畫目標及工作內容	1-4
第二章 空氣品質模式	2-1
2.1 空氣品質模式之選用	2-1
2.2 CAMx 模式簡介	2-3
2.2.1 制御方程式	2-3
2.2.2 網格結構	2-4
2.2.3 傳輸及擴散	2-5
2.2.4 化學反應	2-5
2.2.5 移除項	2-6
2.2.6 邊界條件及初始條件	2-8
2.2.7 臭氧來源分配技術	2-9
2.3 CAMx 模式所須輸入資料及其來源	2-11
第三章 空氣品質監測資料之分析與應用	3-1
3.1 空氣品質監測資料來源	3-1
3.2 空氣品質監測資料之處理	3-1
3.3 事件日之篩選	3-2
第四章 氣象資料分析與討論	4-1
4.1 氣象模式之選用	4-1
4.2 RAMS 使用方法和輸入資料之來源	4-3
4.3 模擬區域和網格結構	4-4
4.4 北部地區氣象模擬結果討論	4-8
4.4.1 案例一(1996年8月7日至8月11日)	4-8
4.4.2 案例二(1996年10月27日至11月1日)	4-33
4.5 南部地區氣象模擬結果討論	4-50
4.5.1 案例一(1996年10月6日至10月10日)	4-50
4.5.2 案例二(1996年10月27日至11月1日)	4-67
第五章 污染物排放量推估	5-1

5.1 污染源排放清單	5-1
5.2 排放模式	5-2
5.3 生物源排放量推估	5-3
5.4 光化學前趨物排放量分析	5-5
第六章 結果討論	6-1
6.1 本章說明	6-1
6.2 北部地區案例一(1996年8月7日至8月10日)	6-2
6.3 北部地區案例二(1996年10月27日至10月30日)	6-18
6.4 南部地區案例一(1996年10月6日至10月9日)	6-33
6.5 南部地區案例二(1996年10月27日至10月30日)	6-46
6.6 臭氧等濃度線分析	6-60
第七章 結論與建議	7-1
第八章 計畫成果應用可行性分析	8-1
參考文獻	9-1
附錄A RAMS模式簡介	A-1
附錄B 期中報告審查意見	B-1

## 圖目錄

圖 1.1 本計畫之工作流程	1-5
圖 3.1 北部地區案例一期間(1996 年 8 月 7 日至 10 日)臭氧濃度逐時 變化圖	3-6
圖 3.2 北部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃 度逐時變化圖	3-9
圖 3.3 南部地區案例一期間(1996 年 10 月 6 日至 10 日)臭氧濃度逐時 變化圖	3-12
圖 3.4 南部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃 度逐時變化圖	3-14
圖 4.1 RAMS 之計算流程	4-5
圖 4.2 氣象模擬所用的巢狀網格	4-7
圖 4.3 第二層網格內的地形圖	4-9
圖 4.4 北部第三層網格內的地形圖	4-10
圖 4.5 南部第三層網格內的地形圖	4-11
圖 4.6 模擬範圍內之地面氣象測站之位置及代碼	4-12
圖 4.7 模擬範圍內之高空測站之位置及代碼	4-13
圖 4.8 1996 年 8 月 7 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分佈 圖	4-14
圖 4.9 1996 年 8 月 8 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分 佈圖	4-15
圖 4.10 1996 年 8 月 9 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分 佈圖	4-16
圖 4.11 1996 年 8 月 10 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場 分佈圖	4-17
圖 4.12 1996 年 8 月 11 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場 分佈圖	4-18
圖 4.13 1996 年 8 月 7 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-20
圖 4.14 1996 年 8 月 8 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-21
圖 4.15 1996 年 8 月 9 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-22
圖 4.16 1996 年 8 月 10 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風 場	4-23
圖 4.17 1996 年 8 月 7 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-24
圖 4.18 1996 年 8 月 8 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-25
圖 4.19 1996 年 8 月 9 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-26

圖 4.20 1996 年 8 月 10 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-27
圖 4.21 北部地區案例一模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較	4-29
圖 4.22 北部地區案例一模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較	4-30
圖 4.23 北部地區案例一模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較	4-31
圖 4.24 北部地區案例一模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較	4-32
圖 4.25 1996 年 10 月 27 日 00Z 綜觀天氣圖	4-34
圖 4.26 1996 年 10 月 28 日 00Z 綜觀天氣圖	4-34
圖 4.27 1996 年 10 月 29 日 00Z 綜觀天氣圖	4-35
圖 4.28 1996 年 10 月 30 日 00Z 綜觀天氣圖	4-35
圖 4.29 1996 年 10 月 31 日 00Z 綜觀天氣圖	4-36
圖 4.30 1996 年 11 月 1 日 00Z 綜觀天氣圖	4-36
圖 4.31 1996 年 10 月 27 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-37
圖 4.32 1996 年 10 月 28 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-38
圖 4.33 1996 年 10 月 29 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-39
圖 4.34 1996 年 10 月 30 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-40
圖 4.35 1996 年 10 月 27 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場	4-42
圖 4.36 1996 年 10 月 28 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場	4-43
圖 4.37 1996 年 10 月 29 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場	4-44
圖 4.38 1996 年 10 月 30 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場	4-45
圖 4.39 北部地區案例二模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較	4-46
圖 4.40 北部地區案例二模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較	4-47
圖 4.41 北部地區案例二模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較	4-48
圖 4.42 北部地區案例二模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較	4-49
圖 4.43 1996 年 10 月 6 日 00Z 綜觀天氣圖	4-51
圖 4.44 1996 年 10 月 7 日 00Z 綜觀天氣圖	4-51
圖 4.45 1996 年 10 月 8 日 00Z 綜觀天氣圖	4-52
圖 4.46 1996 年 10 月 9 日 00Z 綜觀天氣圖	4-52

圖 4.47 1996 年 10 月 10 日 00Z 綜觀天氣圖	4-53
圖 4.48 1996 年 10 月 6 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-54
圖 4.49 1996 年 10 月 7 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-55
圖 4.50 1996 年 10 月 8 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-56
圖 4.51 1996 年 10 月 9 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場	4-57
圖 4.52 1996 年 10 月 6 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-59
圖 4.53 1996 年 10 月 7 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-60
圖 4.54 1996 年 10 月 8 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-61
圖 4.55 1996 年 10 月 9 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場	4-62
圖 4.56 南部地區案例一模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較	4-63
圖 4.57 南部地區案例一模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較	4-64
圖 4.58 南部地區案例一模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較	4-65
圖 4.59 南部地區案例一模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較	4-66
圖 4.60 1996 年 10 月 27 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場	4-68
圖 4.61 1996 年 10 月 28 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場	4-69
圖 4.62 1996 年 10 月 29 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場	4-70
圖 4.63 1996 年 10 月 30 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場	4-71
圖 4.64 南部地區案例二模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比	4-72
圖 4.65 南部地區案例二模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較	4-73
圖 4.66 南部地區案例二模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較	4-74
圖 4.67 南部地區案例二模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較	4-75
圖 5.1 固定污染源 NO <sub>x</sub> 排放量分佈圖	5-11
圖 5.2 移動污染源 NO <sub>x</sub> 排放量分佈圖	5-12
圖 5.3 固定污染源 VOC 排放量分佈圖	5-13



圖 5.4 移動污染源 VOC 排放量分佈圖	5-14
圖 5.5 生物源 VOC 排放量分佈圖	5-15
圖 6.1 1996 年 8 月 7 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-3
圖 6.2 1996 年 8 月 8 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-4
圖 6.3 1996 年 8 月 9 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-5
圖 6.4 1996 年 8 月 10 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-6
圖 6.5 北部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)	6-8
圖 6.6 北部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)	6-9
圖 6.7 北部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(三)	6-10
圖 6.8 北部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-11
圖 6.9 北部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-12
圖 6.10 北部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-13
圖 6.11 北部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-15
圖 6.12 北部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-16
圖 6.13 北部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-17
圖 6.14 1996 年 10 月 27 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-19
圖 6.15 1996 年 10 月 28 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-20
圖 6.16 1996 年 10 月 29 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-21
圖 6.17 1996 年 10 月 30 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈	6-22
圖 6.18 北部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)	6-23
圖 6.19 北部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)	6-24
圖 6.20 北部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(三)	6-25
圖 6.21 北部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-27
圖 6.22 北部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-28
圖 6.23 北部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-29
圖 6.24 北部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-30
圖 6.25 北部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-31

圖 6.26 北部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-32
圖 6.27 1996 年 10 月 6 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-34
圖 6.28 1996 年 10 月 7 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-35
圖 6.29 1996 年 10 月 8 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-36
圖 6.30 1996 年 10 月 9 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-37
圖 6.31 南部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)	6-38
圖 6.32 南部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)	6-39
圖 6.33 南部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-40
圖 6.34 南部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-41
圖 6.35 南部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-42
圖 6.36 南部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-43
圖 6.37 南部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-44
圖 6.38 南部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-45
圖 6.39 1996 年 10 月 27 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-47
圖 6.40 1996 年 10 月 28 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-48
圖 6.41 1996 年 10 月 29 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-49
圖 6.42 1996 年 10 月 30 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈	6-50
圖 6.43 南部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)	6-51
圖 6.44 南部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)	6-52
圖 6.45 南部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-54
圖 6.46 南部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-55
圖 6.47 南部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-56
圖 6.48 南部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)	6-57
圖 6.49 南部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)	6-58

圖 6.50 南部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)	6-59
圖 6.51 10 月 29 日和 30 日北部地區的臭氧等濃度線圖	6.61
圖 6.52 10 月 29 日和 30 日北部地區的臭氧等濃度線圖	6.63

## 表目錄

表 2.1 CAMx 模式所須輸入資料-----	2-12
表 2.2 CAMx 模式所須輸入的檔案-----	2-13
表 3.1 台灣北部地區 1996 年高臭氧事件日 -----	3-3
表 3.2 台灣南部地區 1996 年高臭氧事件日 -----	3-4
表 4.1 中尺度氣象模式及其在空氣品質模擬應用 -----	4-2
表 4.2 本研究中所用的 RAMS 選項 -----	4-3
表 4.3 RAMS 的輸入資料和來源-----	4-6
表 4.4 巢狀網格之範圍、格點數和格點間距 -----	4-6
表 5.1 台灣地區各縣市 NO <sub>x</sub> 及 VOC 排放量統計表-----	5-6
表 5.2 依 USGS 資料所求出的台灣各縣市土地使用分類表-----	5-7
表 5.3 各 AVHRR 土地使用分類之 VOC 和 NO <sub>x</sub> 在標準狀況下之排放係數 -	5-8
表 5.4 各縣市生物源 VOC 和 NO <sub>x</sub> 排放量 -----	5-10

八十九年度環保科技合作計畫(空污費)期末自評表

項 目				
1.計劃書內預期進度之達成度	超前 符合 落後			
◆ 目標訂定	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
◆ 目標管理	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
◆ 重要成果	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.相關研究文獻蒐集與敘述之完整性及合理	優	佳	可	劣
◆ 國內文獻回顧	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 國外文獻回顧	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 文獻內容與主題之關聯性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 文獻是否整合敘述	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.研究方法與過程的合理性與正確性	優	佳	可	劣
◆ 研究計畫架構與執行流程	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 研究方法依據之正確性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 方法與預期成果之關聯性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.初期研究結果之合理性及正確性	優	佳	可	劣
◆ 數據分析與圖表彙整	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 理論探討與成果解說	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 學術或實務成果	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.報告書撰寫之嚴謹性及完整性	優	佳	可	劣
◆ 報告撰寫架構與格式編輯之嚴謹性	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 報告撰寫內容與文字說明之通順與完整	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.結論與建議之實用性	優	佳	可	劣
◆ 符合環保署空污防治之需求	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
◆ 研究成果可行性或建議性	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7.其他	
◆ 計畫中人力編列是否合乎研究需求	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> (請說明原因)
◆ 計畫經費是否足以支應研究需要	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> (請說明原因)
◆ 是否考慮繼續申請空污費科技計畫	是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/> (請說明原因)

## 第一章 前言

### 1. 1 研究動機

光化學污染是目前台灣地急待解決的空氣污染問題，雖然過去幾年政府對此一問題相當重視，並展開大規模的研究，進行各項管制措施，然而 1999 年台灣地區臭氧平均濃度仍較 1998 年為高(詳見 [www.epa.gov.tw/psi/epagif/o3comp.gif](http://www.epa.gov.tw/psi/epagif/o3comp.gif))，顯然此一問題仍有待努力。

臭氧是光化學污染的主要產物，為所謂的二次污染物(Secondary pollutant)，由污染源所排放的前驅物質(主要為  $\text{NO}_x$  和 VOC)在大氣中傳輸擴散，並產生複雜的化學反應，經一段時間後才產生高臭氧濃度。光化學污染牽涉到許多非線性的化學反應，因此無法建立排放量和受點濃度間的線性關係，換句話說，減少前驅物質的排放，並無法使大氣中臭氧濃度呈線性降低，有時減低  $\text{NO}_x$  的排放，甚至還會升高臭氧的濃度(Seinfeld and Pandis, 1998)。

除了化學反應，氣象條件也使光化學污染問題更加複雜。同樣的排放量在有些日子會產生高臭氧，在其他時段則不會，不同的天氣型態會影響污染物的形成。台灣地區多山海島的特殊地形，更深化此一問題的困難度。台灣地區污染物在大氣中傳輸擴散不但會受到大尺度天氣系統的影響，也可能受到各種局部環流的影響，即使應用倒推模式也不容易了解污染物是由何時、何地所排放的前驅物質所造成的。

如果我們對臭氧事件的成因缺乏了解，就不容易擬定有效的污染防制措施，了解各種前驅物質和氣象條件對臭氧的影響是解決光化學污染的重要工作。要了解前驅物質對臭氧的影響可採用統計分析方法或光化學模式模擬法(Wang, 1998)。利用統計的方法探討前驅物排放量和臭氧濃度的關係，雖然計算較為簡單，但因為影響變數甚多，且為高度的非線性系統，因此不容易建立良好的統計模式。此一研究中我們將採用格點形式(grid-based)的光化學空氣品質模式

(Photochemical air-quality simulation model, PAQSMs)來探討此一問題，雖然 PAQSMs 須要大量的輸入資料和複雜的計算，但可對問題作詳細的分析探討，目前此種模式已是光化學污染研究中重要的工具。

格點形式的 PAQSMs 求解制御方程式(governing equations)，雖可考慮化學物質在大氣中的傳送、擴散、反應、沉降等許多物理及化學機制，求出濃度在時空的變化，然而這些變化的過程非常複雜，所以模式使用者往往只能得知所有污染源共同所形成的濃度分佈，並無法得知特定的污染源對臭氧形成的貢獻，因此要利用模式來擬定具體可行的管制方案還是有一些困難。

過去台灣有許多 PAQSMs 的研究，探討前趨物減量對臭氧濃度的影響(莊, 1998；張與曹, 1998；張等, 1999)；但這些研究大都沒考慮臭氧生成的原因，所評估的策略只是將全區域 VOC 和  $\text{NO}_x$  排放量以一定比率改變，此種全區域齊頭式的減量措施不但難以落實應用，而且並非最佳方案，對高臭氧濃度地區改污染改善有限。

一個具體可行的管制策略，必須考慮應減少那些地區、那些類型(大點源、面源、移動污染源、生物源等)、何種污染物(如 VOC 或  $\text{NO}_x$ )的排放量來達到所要求的空氣品質。在過去如果要達到此一目標，通常必須重覆地改變污染源排放清單(emission inventory)，然後再執行電腦模擬以評估其效應。根據美國 OTAG 的經驗要解決區域性的光化學污染，可能要數個機構，花上一年以上的時間，進行數百種狀況的模擬，才能得到足夠的資訊來擬定一個有效的控制策略。因為這種工作過於沉重，所以大家開始發展新的技術，希望能以較高的效率擬定清楚及有效管制策略。目前已有具體的成果，有些程式並已加上此種功能，例如 CAMx 模式(ENVIRON, 1997)可利用臭氧來源分配法 OSAT(Ozone Source Apportionment Technology)來探討各污染源對特定地點臭氧的影響。

我們相信台灣也會面臨此一問題，因此引發我們進行此一研究的動機，在此一研究中我們將探討台灣地區光化學反應前驅物質排放特性(如種類、排放量與

空間分佈)，並分析不同地區、不同類型排放對高臭氧地區臭氧濃度的影響，以供未來擬定管制之參考。

## 1.2 文獻回顧

上一節中我們談到大部份的光化學模式只能求出濃度的時空分佈，並無法了解高臭氧事件的成因。要了解非線性的光化學污染系統中各污染源對臭氧濃度的影響大致上有下列幾種方法：

1 靈敏度分析法(Sensitivity analysis)(Seinfeld, 1988)：利用不同的排放量重複地進行模擬，以了解各污染源對濃度的影響，這種方法雖然很簡單，但須重複計算數十次甚至上百次，非常的不方便。

2 程序分析法(Process Analysis)：此一方法原來由 Jeffries (1984)提出後，經一連串的修正(Jang et al., 1995)。可配合各種數值模式，求出各個污染源，甚至各個化學程序對大氣中臭氧生成的影響。此種方法在模擬過程中，將各個物質的產生和消失的過程，如記帳般詳加記錄，於模擬結束後，用另外的程式進行分析，以了解各物種的來源、轉換的關係和消失的過程，並進而求出臭氧產生的主要路徑。此種方法需要大量的記憶體，如果格點數較大，往往需用許多硬碟空間。目前 MODELS-3 (<http://www.epa.gov/asmdnerl/models3/>)和 UAM-V 模式均已具備此種分析功能，CAMx 預期在今年中所要推出的新版本也將具備此種功能。

3 臭氧來源分配法，此種方法利用追蹤劑(tracer)來探討某一時期、某一污染源的 VOC 或  $\text{NO}_x$  對特定受點(receptor)臭氧形成的影響，此一方法之原理請參考 2.2.7 節。此種方法較為簡單，並可在程式中直接計算，但基本上此種方法所求出之污染源對臭氧的影響只是近似值，如果要準確地了解減量的效果，還是必



須用減量後的排放量重新模擬，此種方法的優點為可大量減少所須的試誤過程。  
本研究使用的 CAMx 模式可用此種方法來探討不同來源的污染物對臭氧的影響。

### 1.3 計畫目標及工作內容

此一計畫之主要目標為探討光化學反應前趨物質排放特性，再利用臭氧來源分析技術評估其對臭氧的影響，並評估以此種方法擬定污染管制措施之可行性。

為達成上述目標，在此一計劃中，分別於南北地區各篩選兩個高臭氧事件進行分析探討，每個事件將進行三至五天的模擬，希望能對發生的原因作較深入的分析。此一計畫主要工作項目如下：

- 利用空氣品質監測資料挑選臭氧事件日。
- 發展污染物排放量推估模式，利用台灣現有的污染源調查資料和地面植物覆蓋資料，求出各物種排放量在時間和空間的變化情形，進行統計分析。
- 就所選擇的事件日，進行中尺度氣象模擬，其結果將用於推動光化學污染的擴散模擬，並了解氣象因素對臭氧成因的影響。
- 執行 CAMx 程式，將模式所算出的濃度和空氣品質監測站之實測濃度互相比較，進行模式驗證，探討模式的適用性。
- 利用 OSAT 技術找出產生高臭氧濃度的原因，並探討不同地區，不同來源的污染前驅物對臭氧的貢獻量。
- 求出臭氧的等值線圖(isoplethe)，以了解 VOC 及 NO<sub>x</sub> 對此一地區高臭氧濃度之影響。

此一計畫的工作流程如圖 1.1 所示。

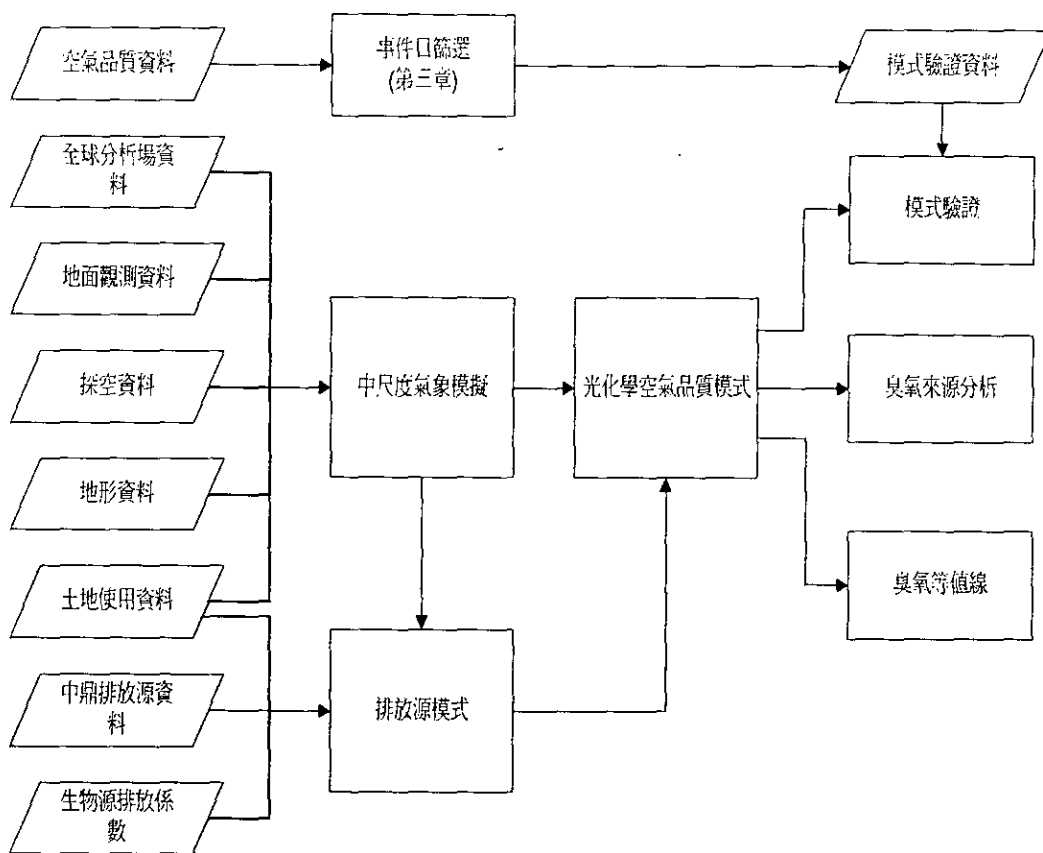


圖 1.1 本計畫之工作流程

本期末報告包含七章，每章分別討論一個主題；第二章為光化學模式介紹，第三章為空氣品質資料的分析與應用，第四章為氣象資料處理與結果分析，第五章為污染物排放量推估與結果分析，第六章為光化學模擬結果分析與討論，第七章則為結論與建議。

## 第二章 空氣品質模式

### 2.1 空氣品質模式之選用

利用適當的模式以評估前趨物質對臭氧生成的影響，進而擬定污染管制措施是目前臭氧研究上一個主要的課題，選用適當的模式配合正確的輸入資料才能得到可信的結果。

過去台灣地區除張能復教授(張與曹，1998)用自行發展的光化學軌跡模式外，其餘研究大都使用 UAM-IV 模式(林，1997；莊，1998 等)或 TAQM 模式(張等，1999)，這兩種都是三維網格 PAQSMs，除此之外，在國外還有許多類似的模式，在本節中我們將加以介紹，並說明本計劃採用 CAMx 模式的原因。

UAM-IV 為都市尺度的光化學模式，採用 CBM-4 光化反應機制(Gery et al., 1989)，為美國 EPA 的優選模式(U.S. EPA, 1986)，曾廣泛地應用於許多美國都市的 SIP 應用。但有許多研究質疑其化學反應的計算可能有錯，而且其功能較少，所以已逐漸為其他方法所取代。根據我們過去的經驗發現 UAM-IV 採用變動的垂直網格，所以沒法處理各種局部環流，因此並不很適合台灣海島型地區(林，1997；蔡，1998)。

UAM-V 為美國 SAI 公司所發展的都市及區域尺度的光化學模式，其使用範圍較 UAM-IV 廣，雖仍舊採用 CBM-4 光化反應機制，不過此一模式改用固定的垂直格點，同時有巢狀網格(Nested-grid)的功能，可以降低邊界條件所產生的誤差。此一模取得 SAI 公司同意後可以免費使用。

RADM(Chang et al., 1987)為區域尺度的酸沉降模式，常用於美國及加拿大，TAQM(張等，1999)為其修改後的台灣版本，曾用於台灣地區酸雨及光化學模擬。此一模式須要輸入三維的水平風場、溫度、水氣混合比和二維的地面溫度、壓力和降雨速率等氣象資料，通常這些資料由 MM5 模式提供。TAQM 採用 RADM2 光化反應機制(Stockwell et al., 1990)，乾沉降用隨時間及空間變化的沉

降速度加以參數化，同時也考慮雲場、液態的化學反應、溶解物質的水洗等效應，同時有巢狀網格(Nested-grid)的功能，可降低邊界條件的影響。

ENVIRON 公司(ENVIRON, 1997)所推出的 CAMx (Comprehensive Air Quality Model with Extension) 為都市到區域尺度的三維網格空氣品質模式，過去曾應用於美國 OTAG(Ozone Transport Assessment Group)研究。此模式除具備 UAM-V 相似之功能如巢狀網格，點煙流處理，.... 等外，還有 OSAT，可用於評估特定區域或特定行業所排放的污染物對某一點的臭氧生成的貢獻量，利用此種技術我們可以擬定經濟有效的管制策略。此外，使用此一模式不須付費，且可自由作延伸性的發展亦為其優點。

美國 EPA 所發展的 MODELS-3 (USEPA, 1998)，經過長時間的開發，也於 1998 年推出。和上述各模式略有不同，這是一個相當龐大的系統，在主架構下有許多系統和使用介面，其中空氣品質模式系統包含排放、化學反應及轉換、分析與科學可視化等許多次模式，可用於多尺度多污染物的模擬和管制策略的擬定。此一軟體雖然免費，但須有一些特定的硬體和軟體須求，使用成本較高，而且此一系統雖然完全，但有些資料庫並不適合台灣使用，我們評估使用此一模式要投入許多準備工作，本計畫將不採用此一軟體。

經過評估後我們將採用 CAMx 進行光化學污染的模擬，所以採用 CAMx 之原因如下：

- CAMx 模式具有 UAM-V 所有的功能，如巢狀網格，點煙流處理，...等，
- CAMx 模式有其他模式所沒有的功能，如：OSAT 功能，化學反應編輯器等，符合此一研究須求。
- 模式不斷地更新，增加新功能，不須付費，且可自由作延伸性的發展。
- 此一模式曾應用於美國一些計畫，效能良好。過去我們曾應用此一模式於相關的研究，有使用經驗（何,1999）。

## 2.2 CAMx 模式簡介

本研究使用的模式為 Comprehensive Air Quality Model with extension (CAMx)，為 Environ 公司所開發的光化學模式，此一模式除具備 UAM-V 相似之功能外，還有 OSAT，可用於評估特定區域或特定行業所排放的污染物對某一點的臭氧生成的貢獻量，利用此種技術我們可以擬定經濟有效的管制策略。

### 2.2.1 制御方程式

CAMx 為一三維的尤拉光化學格點模式，可用於單一點源至都市及區域尺度之氣狀及粒狀污染的評估。在對流層的低層中，藉由解出各個污染物之三維質量守恒方程式來模擬污染源擴散與化學性污染物。此一連續方程式採用隨地形變化 (terrain-following) 的垂直座標系統，所考慮的機制包含傳送項、擴散項、化學反應項、污染源項以及移除項，方程式的形式為：

$$\frac{\partial c_l}{\partial t} = -(\nabla_H \cdot \overline{V_H} c_l) + \left[ \frac{\partial(c_l \eta)}{\partial z} - c_l \frac{\partial^2 h}{\partial z \partial t} \right] + (\nabla \cdot K \nabla c_l) \\ + \frac{\partial c_l}{\partial t} \Big|_{chemistry} + \frac{\partial c_l}{\partial t} \Big|_{Emission} + \frac{\partial c_l}{\partial t} \Big|_{Removal}$$

式中，

$c_l$  : 物種  $l$  的平均濃度 (average species concentration)

$V_H$  : 水平風速分量 (horizontal wind vector)

$\eta$  : 垂直逸入率 (vertical entrainment rate)

$h$  : 分層高程 (layer interface high)

$K$  : 亂流交換係數 (turbulent exchange coefficient)

上式等號右邊第一項為水平平流項 (horizontal advection)，第二項為垂直傳輸項 (vertical transport)，第三項為亂流擴散項 (turbulent diffusion)，第四項為化學反應項，第五項為污染源項，第六項為移除項。

CAMx 採用所謂的時間分割法(time-splitting operation)來求解制御方程式，其求解過程分成下列幾個步驟：

$$\begin{aligned}\left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Xadvection} &= -\frac{m^2}{A_{yz}} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{uc_i A_{yz}}{m} \right) \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Yadvection} &= -\frac{m^2}{A_{xz}} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{vc_i A_{xz}}{m} \right) \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Ztransport} &= \frac{\partial(c_i \eta)}{\partial z} - c_i \frac{\partial^2 h}{\partial z \partial t} \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{XYdiffusion} &= m \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( mK_x \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( mK_y \frac{\partial c_i}{\partial y} \right) \right\} \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Zdiffusion} &= \frac{\partial}{\partial z} \left[ K_v \frac{\partial c_i}{\partial z} \right] \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Chemistry} &= \text{視所用的化學反應機制而定的化學反應式} \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{Emission} &= \frac{E_i}{V} \\ \left. \frac{\partial c_i}{\partial t} \right|_{WetScav} &= -\Lambda_i c_i\end{aligned}$$

上式中  $u$ 、 $v$  為東西向及南北向水平風速分量， $A_{yz}$  和  $A_{xz}$  為網格之  $y$ - $z$  和  $x$ - $z$  之斷面積， $m$  為地圖投影因子， $E_i$  為排放率， $V$  為網格體積， $\Lambda_i$  為濕水洗速率，其值為物質溶解速率和降雨速率的函數，乾沉降在上面方程式中沒有顯現出來，因為乾沉降在邊界條件中加以處理。

## 2.2.2 網格結構

CAMx 所用的網格為標準的 Arakawa C 網格(Mesinger and Arakawa, 1976)。所有的污染物濃度、溫度、水氣和擴散係數均定義於網格中心，而速度分量則定義於其垂直向 1/2 網格處。在水平方向可採用直角座標、UTM 座標、polar stereographic 投影法、Lambert conformal 投影法等。

在垂直向採用 sigma- $z$ ( $\sigma_z$ )的座標系統，其定義為

$$\sigma = \frac{Z - h(x, y)}{H(x, y, t) - h(x, y)}$$

其中  $h(x, y)$  為地面高程， $H(x, y, t)$  為模擬區域頂部高度。

CAMx 使用雙向影響(two-way interaction)巢狀網格(nested grid system)，細網格為粗網格的一部份，在細網格邊界增加一個緩衝網格(buffer cell)，用來儲存細網格的邊界條件。此一技術首先更新粗網格的解答，然後進行空間插值，求出較細網格邊界上的值，並將其設定為邊界條件；利用此一邊界條件，求解更新後的細網格的值，當細網格計算到與粗網格相同時間時，再用細網格的平均值把粗網格內的值加以覆蓋掉。利用巢狀網格技術，可以擴大模擬區域，以減少邊界條件不確定性之影響；在主要區域採用較細的網格，可以得到較高的解析度。

### 2.2.3 擴散及傳輸

水平傳輸(advection)模擬可用 Smolarkiewicz(1983)之前向上風擴散修正法或 Bott(1989)之通量守恒法。水平擴散則用一般的顯式法(explicit)求解，水平亂流擴散係數用 Smagorinsky (1963)所建議的變形法求出。

垂直擴散係數須由風場模式求解出來，作為 CAMx 所需輸入之資料。垂直傳輸使用 Crank-Nicholson 法求解，而垂直擴散則用完全的隱式法(implicit)求解。

### 2.2.4 化學反應

在光化學污染中，機制物種(mechanism species)可分為有機和無機兩大類，重要的無機物種數目較少，在化學反應機制中大都以顯式(explicit)表示，但影響光化學的有機物種為數甚多，如果將其以顯式表示，在三維模式中將佔太多計算機之記憶體且造成冗長的計算，所以有機物種常以濃縮的反應來代表。

目前最常用的三種光化學反應機制包括結構概括機制(Lumped structure)、替代物種方法(surrogate species approach)和物種概括方法(lumped species method)，CB4 為概括機制之代表，而 RADM2 則為物種概括方法的代表，SAPRC-97(Carter, 1990)則採用替代物種法。CAMx 提供了以 CBM-IV 第四版(Gery

et al., 1989) 或是 SAPRC97 (Carter, 1990) 為基礎的機制來處理化學反應，而且提供了五種預設的機制，以供使用者選用。本研究採用第三種來進行本研究。此一機制修正了原先 CBM-IV 中錯誤的自由基終結反應(termination reaction)並加入 Carter 的異戊二烯(isoprene)反應機制，此一反應機制共有 96 個反應式。

晴空 (Clear sky) 狀態的光解速率為太陽天頂角、緯度、總臭氧柱、地表反射率和大氣濁度等五個參數的函數，在 CAMx 中可用 TUV 光解預處理程式，建立一個對照表，以求出晴空狀態下的光解速率。

在有雲的情況下光解速率會改變，CAMx 有兩種計算方法，如果採用 UAM-V 的雲檔案格式，則只用覆雲量 (Fc) 求光解速率，如果採用 RADM 演算法，則使用者要準備 CAMx 格式的雲檔案，利用水平覆雲量、深度和液態水含量去計算雲光程深度 (optical depth)，考慮 UV 的衰減或反射等效應，以求出光解速率。

CAMx 利用混合數值方法(hybrid numerical approach)來處理氣相化學，其中最快速反應物種 (自由基) 是使用穩態趨近 (steady state approximation) 來處理，也就是假設這些物種皆達成完全平衡，其濃度由慢速反應物種所決定，由於自由基的化學反應時間相對於模式之時間步階相當的短，所以可採用此種方法。在此 CAMx 使用一個半隱性(semi-implicit)數值方法來求解自由基濃度。因為其化學反應時間很短，所以自由基並不考慮其傳輸作用。其他大氣裡的化學物種會被區分為快速物種 (fast state species) 與慢速物種(slow state species)，其中快速相物種以二階隱性 Rung-Kutta 法 (Lambert, 1973) 來求解，另外使用顯性法(explicit)方式來處理其餘的慢速相物種。

## 2.2.5 移除項

許多污染物經由沉降過程而降低污染物濃度，因此當模擬大氣中污染物濃度時，需要考慮到沉降作用。一般將沉降作用分成兩類：1. 乾沉降，污染物直接與地表接觸而沉降。2. 濕沉降，物質經由化學的吸收(氣體)或是凝結/撞擊 (nucleation/impaction) (顆粒)方式被大氣中的水氣吸附而沈澱至地表。藉由乾、濕沉降過程而移除污染物的效率，與污染物的物化性質、地區氣象的情況、



地表的種類...等各項參數有關。

乾沉降通量為考量沉降速度與污染物的濃度乘積，如下式所示：

$$V_d = \frac{F}{C}$$

$V_d$ ：沉降速度

$F$ ：污染物沉降通量

$C$ ：污染物濃度

其中， $F$ 和地表阻力(surface resistance)有關，故模式合併了一些精鍊的機制，以模擬氣體及粒子的乾沉降(Schmel, 1980; Hicks, 1982), Wesely(1989)發展了一阻力模式，將乾沉降速度視為各阻力和的倒數。

$$V_d = (r_a + r_b + r_s)^{-1}$$

$r_a$ ：氣動阻力 (aerodynamic resistance)

$r_b$ ：邊界阻力 (boundary resistance)

$r_s$ ：地表阻力 (Surface resistance)

1. 氣動阻力：指由地面低處因亂流擴散所造成的傳輸將氣體或微粒傳輸到層流次層的上方，此值對於所有的氣體與小顆粒皆相同。氣動阻力會因亂流強度、太陽輻射、風速、地面粗糙度與近地表的溫度直減率 (temperature lapse rate) 等因素而改變。一般而言， $r_a$  會在對流旺盛的午後其值較小；而在較寒冷靜風的夜晚其值較大。
2. 邊界阻力：物質穿過地表層上薄薄的層流次層 (laminar sublayer)，到達真正地表的阻力，主要由間歇性的亂流所造成，在此層氣體主要受分子傳輸作用，而粒子則受布朗傳輸、慣性作用的影響。
3. 地表阻力：氣體到達地表而被吸收或吸附的阻力，地表阻力與地表的物理與化學性質有關。此一阻力隨季節、土地利用、地面溫度...等而改變，在 CAMx 中採用 Wesely (1989) 法計算地面阻力，在水面則利用 Kumar et al. (1996) 方法。

在 CAMx 中濕沉降的計算方法與 CALPUFF (EPA, 1995) 模式中一致，採用

Maul (1980) 所建議的簡單水洗係數方法，在此一方法中，在某一網格內每一時間步階中，污染物去除比率為該物種水洗係數 ( $\Lambda_i$ ) 的指數函數，氣體的水洗係數與其亨利溶解度 ( $k_i$ ) 和降雨速率 ( $R, \text{mm/hr}$ ) 有關，其計算式如下：

$$C_i^{t+\Delta t} = C_i^t e^{(-\Lambda_i \Delta t)}$$

$$\Lambda_i = 3 \times 10^{-10} k_i R$$

## 2.2.6 邊界條件與初始條件

解制御方程式須給予適當的起始、邊界條件。一般而言，起始條件對模式影響僅在最初數小時，而邊界條件則因所使用的差值方法，而有不同程度的影響。就起始條件而言，一般均假設濃度分佈已知，即  $C_i(x, y, \rho, t_0) = f_i(x, y, \rho)$ ，所以利用已知的監測資料，再利用差值的方法決定出所有格點上的起始值。就邊界條件而言，此模式的控制體積，即所謂的網格包含了六個界面：

(1) 地面： $\sigma = 0$

$$-\frac{K_v}{\Delta H} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial \sigma} = Q_i(x, y, t)$$

(2) 垂直頂部： $\sigma = 1$

$$-\frac{K_v}{\Delta H} \cdot \frac{\partial C_i}{\partial \sigma} = 0$$

(3) 四面邊界：

$$-K_h \frac{\partial C_i}{\partial x} = 0 \quad x = x_w \text{ 或 } x_e$$

$$-K_h \frac{\partial C_i}{\partial y} = 0 \quad x = x_s \text{ 或 } x_n$$

其中，

$$\sigma = \frac{Z - h(x, y)}{H(x, y, t) - h(x, y)}$$

$h(x, y)$  : 地形高程

$H(x, y, t)$  : 模擬區域頂部高度

$Q_i = V_{d_i} C_i(0)$  : 地面沉降通量

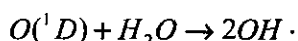
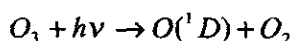
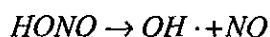
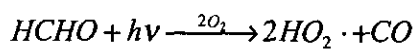
$V_{d_i}$  : 污染物  $i$  的沉降速度

$x_W, x_E, x_S, x_N$  : 分別為西、東、南、北邊界

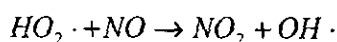
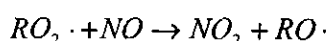
在垂直頂部及四面邊界之  $i$  污染物濃度  $C_i$  為其上風處濃度。

## 2.2.7 臭氧來源分配技術

光化學污染中，臭氧的產生和 VOC 與  $\text{NO}_x$  與  $\text{OH}\cdot$  基的反應有密切的關係， $\text{OH}\cdot$  在大氣中的反應可以分為初始(Initial)、傳播(propagation)和中斷(termination)三個階段，新的自由基可由下列光解產生：

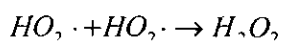
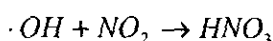


在傳播階段 VOC 被氧化，而且 NO 轉換為  $\text{NO}_2$ ，一系列的反應可以表示如下：



在此一反應中 VOC 氧化成 Carbonyls，兩個  $\text{NO}_x$  分子則轉換成  $\text{NO}_2$ ， $\text{OH}\cdot$  則在最後反應再度產生。

在中斷階段，自由基會損失，產生下列反應：



當  $OH\cdot$  和  $NO_2$  隨臭氧累積而上升時，第一個反應為最重要的中斷反應，而在  $NO_x$  濃度低時，則容易產生第二個中斷反應。

臭氧的生成和  $VOC/NO_x$  濃度的比值有關，當  $NO_2$  含量較多時，容易和  $OH\cdot$  反應產生  $HNO_3$ ，此時臭氧的生成就受到抑制，這就是所謂 VOC 限制 (VOC limit)，相反地，當大氣中  $NO_x$  濃度較少時， $HO_2\cdot$  的中斷反應會消耗大氣中的自由基，因此臭氧的生成為  $NO_x$  所限制，Sillman (1995) 提出依各有關臭氧生成為  $NO_x$  限制或  $NO_x$  限制的指標，他建議

$$P_{H_2O_2} / P_{HNO_3} > 0.35 \quad \text{則臭氧生成為 } NO_x \text{ 限制}$$

$$P_{H_2O_2} / P_{HNO_3} < 0.35 \quad \text{則臭氧生成為 VOC 限制}$$

上式中  $P_{H_2O_2}$  為每一模擬網格中  $H_2O_2$  的生成速率， $P_{HNO_3}$  為每一模擬網格中  $HNO_3$  的生成速率。

在 CAMx 中利用“追蹤”(Tracer)物質來進行臭氧來源分配，追蹤物質分為兩種，即“時間追蹤劑”(Timing tracer)和“臭氧反應追蹤劑”(Ozone reaction tracer)，時間追蹤劑用於決定前驅物在到達受點前的稀釋倍率 and 在大氣中的停留時間，而臭氧反應追蹤劑則追蹤前驅物排放後的命運和其對臭氧生成的貢獻，每一組污染源所產生的影響，均利用四種臭氧反應追蹤劑來代表，分別為：

$N_i$  = 第  $i$  組的  $NO_x$  追蹤劑，與第  $i$  組污染源的  $NO_x$  排放有相同的時空分佈，

隨著所在網格的  $\frac{dNO_x}{dt}$  而衰退，其衰退速率為  $\left(\frac{dNO_x}{dt}\right)\left(\frac{N_i}{\sum N_i}\right)$ ， $\sum N_i$  為該網格內總  $NO_x$  量。

$V_i$  = 第  $i$  組的 VOC 追蹤劑，與第  $i$  組污染源的 VOC 排放有相同的時空分佈

，隨著所在位置的  $\frac{dVOC}{dt}$  而衰退，其衰退速率為  $\left(\frac{dVOC}{dt}\right)\left(\frac{V_i \cdot kOH_i}{\sum (V_i \cdot kOH_i)}\right)$ ，其中

$kOH_i$  為第  $i$  組追蹤劑和 OH 基的反應性

$O_3V_i$  = 代表第  $i$  組的污染源在 VOC 限制狀況下臭氧的生成

$O_3N_i$  = 代表第  $i$  組的污染源在  $NO_x$  限制狀況下臭氧的生成

$O_3V_i$  和  $O_3N_i$  在傳輸過程中其量一下面法則改變：

- 如果網格內臭氧濃度增加，且為 VOC 限制，則  $O_3V_i$  增加速率為

$$\left( \frac{dO_3}{dt} \right) \left( \frac{V_i \cdot kOH_i}{\sum (V_i \cdot kOH_i)} \right), \text{ 而 } O_3 N_i \text{ 則不變。}$$

- 如果網格內臭氧增加，且為  $NO_x$  控制，則  $O_3 N_i$  增加速率為  $\frac{dO_3}{dt} \frac{N_i}{\sum N_i}$ ，

而  $O_3 V_i$  則不變。

- 如果網格內臭氧減少，則

$$\frac{dO_3 N_i}{dt} = \left( \frac{dO_3}{dt} \right) \frac{N_i}{\sum (N_i + V_i)}$$

$$\frac{dO_3 V_i}{dt} = \left( \frac{dO_3}{dt} \right) \frac{V_i}{\sum (N_i + V_i)}$$

$N_i, V_i, O_3 N_i, O_3 V_i$  追蹤劑在大氣中傳送和擴散的計算方式與其他物質相同，一般而言，這些追蹤劑大都保持質量守恆。利用此種方法我們可以評估不同來源及不同污染物對臭氧的影響。因此，在此一研究中，我們將使用 OSAT 技術，以評估不同地區，不同行業對臭氧的影響。

## 2.3 CAMx 模式所需輸入資料及其來源

光化學空氣品質模式最主要的目的就是輸入適當的初始條件、邊界條件、污染物排放量資料、氣象資料、地表特性等各項資料；然後經由適當的數值計算，求解制御方程式，得到各污染物濃度的時空分佈。

CAMx 所須輸入的資料如表 2.1 所示。這些資料必須先收集原始資料(raw data)；然後經預處理程式(preprocessor)或預模式(premodel)分析後，轉換為 CAMx 所須的格式。CAMx 所須輸入的資料檔和其內容及產生的方式如表 2.2 所示。由於所須的資料量相當龐大，處理流程也很複雜，各個階段都必須小心，避免錯誤，在第三章、第四章和第五章中，我們將說明監測資料、氣象資料和排放資料的處理與分析方法。

表 2.1 CAM<sub>x</sub> 模式所需輸入資料

<u>氣象資料</u>	
由氣象模式供給	<p>三維網格的：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>風場</li> <li>溫度場</li> <li>垂直擴散係數</li> <li>壓力</li> <li>水蒸氣</li> <li>覆雲量</li> <li>降雨量</li> </ul>
<u>空氣品質</u>	
由空氣品質監測站獲得	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 網格初始濃度</li> <li>● 各小時網格邊界濃度</li> <li>● 頂部濃度分佈</li> </ul>
<u>排放量</u>	
由污染源調查和排放模式產生	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 高點源</li> <li>● 網格污染源 <ul style="list-style-type: none"> <li>— 低層點源</li> <li>— 移動污染源</li> <li>— 面源/非道路移動源</li> <li>— 生物源</li> </ul> </li> </ul>
<u>地面資料</u>	
由 USGS 土地利用檔取得	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 各網格土地使用/地面覆蓋(LULC)</li> <li>● 網格地表 uv 反射碼</li> </ul>
<u>其他</u>	
由 TOMS 所得之 O <sub>3</sub> 柱資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 垂直格點結構</li> </ul>
由輻射模式所取得之光解速率資料	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 大氣輻射特性 <ul style="list-style-type: none"> <li>— 格點 haze 碼</li> <li>— 格點臭氧柱碼</li> <li>— 光解速率對照碼</li> </ul> </li> </ul>

表 2.2 CAMx 模式所須輸入的檔案

檔案	內 容	產生方式
光解速率檔	此檔為一五維的對照檔，由太陽天頂角、高度、地面 uv 反射率、太陽溫度和總臭氧柱密度求出光解速率。	由 TUV radiative transfer 模式產生
Albedo/haze/ozone 檔 (ALHZOZ 檔)	在模擬範圍內之地面 uv 反射率、臭氧柱密度、濁度的時、空分佈。	使用者準備
頂部濃度檔	模擬區域頂部物種濃度值，一般假設其值為定值，在模擬期間不會改變。	參考文獻決定其值
土地使用檔	二維的土地使用分佈檔，代表各網格內十一種土地分類所佔的比率，用於乾沉降計算。	由 USGS 資料經自行發展的程式產生。
高度/壓力檔	三維的網格高度和各層平均壓力；壓力場資料用於污染物傳輸、煙流上升、乾沉降、化學反應計算。	氣象模式(RAMS)輸出結果，再經自行撰寫的轉檔程式產生
風場	三維網格 u.v. 分佈，用於傳輸、煙流上升、乾沉降計算。	同上
溫度場	三維網格溫度分佈，用於污染物傳輸、煙流上升、乾沉降、化學反應計算。	同上
水蒸汽檔	用於乾沉降和化學反應計算。	同上
覆雲量檔(*)	三維網格內水平雲層覆蓋率(cloud cover)和液態水含量，用以計算光解速率	同上
降雨量檔(*)	二維網格的降雨速率檔案，用於計算乾、溼沉降量	同上
垂直擴散係數	三維網格在各層交界處的垂直擴散係數，用於垂直擴散和煙流成長計算	同上
初始條件	三維網格內各物種濃度分佈，至少要有一種以上的物種濃度。其他未在此檔定義的物種，其初始濃度由化學參數檔中下限濃度值決定。	由空氣品質監測資料，經預處理程式處理後求出
邊界條件檔	側向邊界的二維網格濃度分佈。	由空氣品質監測資料，經預處理程式處理後求出

檔案	內 容	產生方式
高點源檔	所有高排放點污染源的排放參數和排放率。	由污染源排放清單經排放源模式處理後求出
網格面源排放率	所有低排放點源、面源、移動污染源和生物源的逐時污染物排放率。	同上

(\*) 可不須輸入



### 第三章 空氣品質監測資料之分析及應用

#### 3.1 空氣品質監測資料來源

空氣品質監測資料為光化學污染模擬中不可或缺的資料！其主要用途包括：

- 挑選臭氧事件日。
- 準備 CAMx 模式所須的初始條件和邊界條件。
- 模式驗證比較。

此一計劃所用的空氣品質監測資料取自環保署的空氣品質監測網，目前監測站總數已增至七十二站，其中包括一般空氣品質監測站 58 站，工業空氣品質監測站 3 站，交通空氣品質監測站 5 站，國家公園空氣品質監測站 2 站，背景空氣品質監測站 4 站。我們收集了 1996、1997、1998 之監測資料，均加以處理，但本計畫中只使用 1996 年之資料。

#### 3.2 空氣品質監測資料之處理

本研究中首先將取得的空氣品質監測資料檔案，經過我們自行撰寫的程式，將每一年約 800 個檔案的資料，轉換成一個 netCDF 格式的檔案，以方便未來之應用與分析。NetCDF 格式(<http://www.unidata.ucar.edu/packages/netcdf>) 乃為陣列(array)資料所發展的一個跨平台使用的通用格式，有許多氣象、空氣污染及繪圖軟體均採用此一格式，如：MODELS3，NCAR Graphics，EDSS 等。使用此一格式有下列優點：

- 自我描述：netCDF 中包含其內存數據的相關資訊。
- 可攜性：資料可跨平台使用。
- 直接存取：可由大量資料中有效率的取出所要的數據。
- 可擴充：容易增加新資料。
- 可共用：可多人同時讀取資料。

在此一研究中我們撰寫一個 FORTRAN 程式，並應用 EDSS 中 IO/API 副程式庫(<http://sage.mcnc.org/products/ioapi/index.html>)，將資料轉成 netCDF 格式，在所有的過程中，我們均仔細檢查以避免錯誤。

### 3.3 事件日之篩選

因為三維格點的空氣品質模式須要大量的計算，因此無法將一整年的資料輸入電腦，對所有氣象狀況進行模擬，相反地，這類模式往往挑選一些容易產生高臭氧的天氣型態，做為考慮的依據，在進行模式模擬評估之前，需先選擇氣象事件日 (meteorological episodes)。在此一計畫中我們只考慮 1996 年的監測資料進行事件日的篩選，目前最常用的污染源資料庫為中鼎公司所推估的資料，其基準年為 1996 年，所以我們只就 1996 年的監測資料進行分析。

首先我們將區域的各監測站臭氧濃度超過 120ppb 之時數加以累計，稱為超過標準之站時數；凡是該日該區域內超過標準之站時數超過 5 以上，均將其挑選出來，列於表 3.1 和表 3.2 中以供參考。此兩表列出超過標準值的測站，名稱後括號內第一個數字為超過的時數，第二個數字為該站該日最大小時濃度值。

由表 3.1 中可以看見北區中有 18 日被篩選出來，然後我們參考張 (1999) 的天氣型態的分類，由這 18 日中選出 8 月 7 日~8 月 10 日和 10 月 27 日~11 月 1 日為事件日，這幾天包含容易造成高臭氧的天氣型態，有關這幾天的天氣分析，可參考第四章的討論。至於這幾天的臭氧濃度逐時序列圖則列於圖 3.1 和圖 3.2 中以供參考。

同樣地，表 3.2 中列出南區臭氧發生的日期，共有 43 天，我們考慮其尖峰濃度和天氣型態，選擇 10 月 6 日~10 月 10 日和 10 月 27 日~11 月 1 日為模擬案例，其中 10 月 27 日~11 月 1 日和北區相同，在這一期間內台灣各地臭氧濃度均高，值得探討，這些事件日中臭氧濃度逐時序列圖列於圖 3.3 和圖 3.4 以供參考。

表 3.1 台灣北部地區 1996 年高臭氧事件日

日期	超過之 站時數	最大濃度 (ppb)	詳細資料
2/14	9	165	仁愛(1, 140), 萬里(3, 165), 士林(1, 132), 中山(1, 139), 萬華(1, 122), 古亭(2, 134),
5/19	9	124	大同(3, 124), 觀音(1, 122), 湖口(3, 122), 竹東(2, 121),
5/20	7	146	汐止(1, 146), 萬里(3, 140), 板橋(1, 131), 中山(1, 142), 萬華(1, 121),
5/25	8	142	萬里(1, 138), 板橋(1, 132), 新莊(1, 142), 淡水(1, 121), 士林(1, 139), 中山(2, 137), 萬華(1, 128),
6/6	8	147	萬里(1, 125), 新店(2, 147), 土城(1, 146), 板橋(1, 125), 中山(2, 137), 大同(1, 142),
6/8	8	164	萬里(2, 164), 新店(1, 155), 土城(1, 136), 中山(2, 135), 萬華(2, 143),
6/14	9	158	萬里(2, 158), 新店(2, 134), 土城(2, 136), 板橋(1, 125), 中山(2, 140),
7/17	10	154	萬里(1, 134), 新店(1, 134), 土城(2, 147), 板橋(1, 149), 新莊(1, 125), 士林(1, 137), 中山(1, 137), 萬華(1, 154), 古亭(1, 133),
8/8	9	158	萬里(1, 140), 新店(2, 129), 土城(2, 126), 板橋(1, 124), 士林(1, 122), 中山(2, 158),
8/10	12	157	萬里(2, 157), 新店(1, 121), 土城(1, 129), 板橋(1, 128), 士林(1, 130), 中山(1, 144), 萬華(1, 121), 觀音(1, 130), 五權(1, 122), 龍潭(2, 121),
8/21	6	162	新店(2, 152), 土城(1, 144), 板橋(2, 162), 中山(1, 130),
9/8	9	164	龍潭(3, 134), 湖口(3, 164), 竹東(3, 161),
9/12	11	140	桃園(3, 130), 大園(4, 140), 觀音(2, 136), 五權(2, 133),
9/13	8	154	萬里(2, 154), 新店(1, 125), 士林(1, 120), 中山(1, 152), 萬華(1, 121), 大園(1, 123), 五權(1, 123),
10/28	10	146	仁愛(1, 146), 萬里(3, 168), 中山(2, 141), 萬華(1, 139), 古亭(2, 133), 花蓮(1, 121),
10/30	12	202	新店(2, 160), 土城(3, 191), 板橋(3, 202), 新莊(2, 146), 中山(2, 182),
10/31	13	169	萬里(2, 159), 新店(2, 157), 土城(2, 145), 板橋(1, 150), 士林(1, 151), 中山(2, 128), 萬華(2, 160), 古亭(1, 169),
11/1	6	171	仁愛(1, 171), 萬里(1, 135), 淡水(1, 120), 中山(1, 125), 古亭(2, 145),

表 3.2 台灣南部地區 1996 年高臭氧事件日

日期	超過之 時站數	最大濃度 (ppb)	詳細資料
1/5	6	143	美濃(2, 130), 大寮(1, 125), 楠梓(1, 124), 小港(2, 143),
3/6	10	141	仁武(2, 132), 楠梓(1, 120), 左營(2, 141), 三民(2, 121), 前鎮(1, 141), 小港(2, 139),
3/23	10	152	鳳山(3, 139), 小港(1, 129), 屏東(6, 152),
3/25	8	150	鳳山(2, 149), 楠梓(1, 133), 小港(3, 147), 屏東(2, 150),
3/28	9	174	鳳山(2, 173), 小港(2, 132), 屏東(5, 174),
4/7	9	148	鳳山(3, 148), 大寮(3, 143), 前鎮(2, 125), 屏東(1, 122),
4/18	6	186	後甲(2, 151), 鳳山(3, 186), 楠梓(1, 152),
4/27	8	185	大寮(4, 153), 屏東(4, 185),
4/28	11	144	安南(2, 125), 後甲(1, 134), 美濃(2, 144), 林園(1, 138), 楠梓(2, 144), 左營(2, 129), 三民(1, 134),
5/10	6	151	鳳山(1, 148), 大寮(1, 121), 屏東(4, 151),
5/11	7	168	鳳山(2, 147), 大寮(2, 131), 前鎮(1, 127), 屏東(2, 168),
5/16	9	163	嘉義(1, 123), 新營(1, 128), 善化(2, 131), 安南(4, 163), 後甲(1, 128),
6/1	9	158	鳳山(1, 120), 大寮(1, 124), 林園(2, 131), 楠梓(2, 158), 小港(1, 145), 屏東(2, 138),
7/15	6	201	美濃(5, 201), 林園(1, 122),
7/20	15	169	美濃(5, 169), 仁武(1, 129), 鳳山(1, 120), 楠梓(1, 120), 左營(1, 126), 小港(2, 130), 屏東(4, 148),
7/21	17	146	美濃(6, 143), 仁武(1, 122), 鳳山(3, 134), 左營(2, 132), 小港(1, 126), 屏東(4, 146),
7/23	8	177	後甲(2, 137), 美濃(4, 177), 楠梓(2, 124),
9/8	11	174	嘉義(1, 120), 美濃(4, 174), 橋頭(2, 147), 仁武(1, 131), 楠梓(2, 142), 左營(1, 139),
10/6	11	167	仁武(2, 143), 鳳山(1, 121), 大寮(1, 121), 左營(2, 135), 前鎮(3, 167), 小港(2, 156),
10/8	11	166	後甲(2, 127), 美濃(3, 166), 大寮(1, 133), 林園(3, 148), 左營(1, 121), 前鎮(1, 133),
10/9	15	145	後甲(1, 123), 美濃(2, 133), 橋頭(2, 126), 林園(2, 136), 楠梓(2, 145), 左營(3, 133), 前鎮(3, 144),
10/10	14	181	仁武(2, 166), 鳳山(2, 167), 大寮(3, 135), 左營(3, 181), 小港(3, 144), 屏東(1, 132),
10/18	6	137	鳳山(3, 135), 大寮(1, 137), 前鎮(1, 124), 屏東(1, 128),

10/23	10	139	美濃(1, 124), 左營(3, 139), 前鎮(3, 125), 屏東(3, 135),
10/24	10	217	鳳山(2, 217), 大寮(3, 155), 左營(1, 130), 前鎮(1, 132), 屏東(3, 179),
10/25	17	147	美濃(2, 131), 仁武(2, 133), 鳳山(3, 137), 大寮(2, 147), 左營(3, 147), 三民(2, 139), 前鎮(2, 137), 屏東(1, 125),
10/29	26	212	後甲(3, 168), 美濃(2, 135), 仁武(3, 130), 鳳山(1, 133), 大寮(4, 171), 林園(1, 131), 左營(3, 176), 三民(1, 146), 前鎮(1, 133), 小港(3, 161), 屏東(4, 212),
10/30	12	192	善化(1, 158), 後甲(3, 138), 鳳山(1, 126), 大寮(1, 120), 小港(3, 181), 屏東(3, 192),
10/31	21	208	美濃(1, 127), 仁武(3, 138), 鳳山(4, 151), 大寮(2, 147), 左營(1, 131), 三民(2, 142), 前鎮(1, 120), 小港(3, 164), 屏東(4, 208),
11/1	13	178	仁武(1, 134), 鳳山(2, 130), 大寮(3, 134), 左營(1, 127), 小港(2, 136), 屏東(4, 178),
11/2	12	160	嘉義(1, 120), 新營(1, 120), 善化(2, 121), 鳳山(1, 134), 大寮(1, 121), 左營(1, 126), 小港(2, 129), 屏東(3, 160),
11/19	6	138	鳳山(1, 138), 小港(2, 128), 屏東(3, 135),
11/20	15	154	後甲(2, 131), 美濃(1, 125), 鳳山(4, 154), 大寮(1, 124), 林園(1, 129), 左營(1, 148), 三民(1, 128), 小港(2, 130), 屏東(2, 144),
11/21	13	172	後甲(2, 130), 仁武(2, 128), 大寮(2, 130), 左營(1, 120), 小港(2, 143), 屏東(4, 172),
11/23	7	166	鳳山(4, 155), 屏東(3, 166),
11/25	15	157	後甲(1, 121), 大寮(5, 154), 林園(1, 120), 左營(3, 148), 三民(2, 125), 小港(1, 124), 屏東(2, 157),
11/26	41	161	嘉義(1, 123), 新營(2, 139), 善化(2, 141), 後甲(2, 138), 美濃(3, 134), 仁武(2, 128), 鳳山(4, 160), 大寮(5, 160), 林園(4, 129), 左營(4, 161), 三民(4, 143), 前鎮(1, 128), 小港(2, 131), 屏東(5, 152),
11/27	8	162	美濃(1, 120), 鳳山(3, 162), 林園(1, 131), 小港(2, 124), 屏東(1, 131),
11/28	9	188	大寮(4, 188), 屏東(5, 168),
11/29	7	153	鳳山(3, 152), 小港(2, 129), 屏東(2, 153),
12/3	19	208	仁武(3, 172), 鳳山(4, 208), 大寮(4, 185), 前鎮(4, 160), 屏東(4, 174),
12/4	13	203	新營(1, 120), 仁武(2, 148), 大寮(4, 216), 左營(2, 152), 前鎮(3, 203), 小港(1, 122),
12/30	6	157	鳳山(4, 157), 屏東(2, 166),

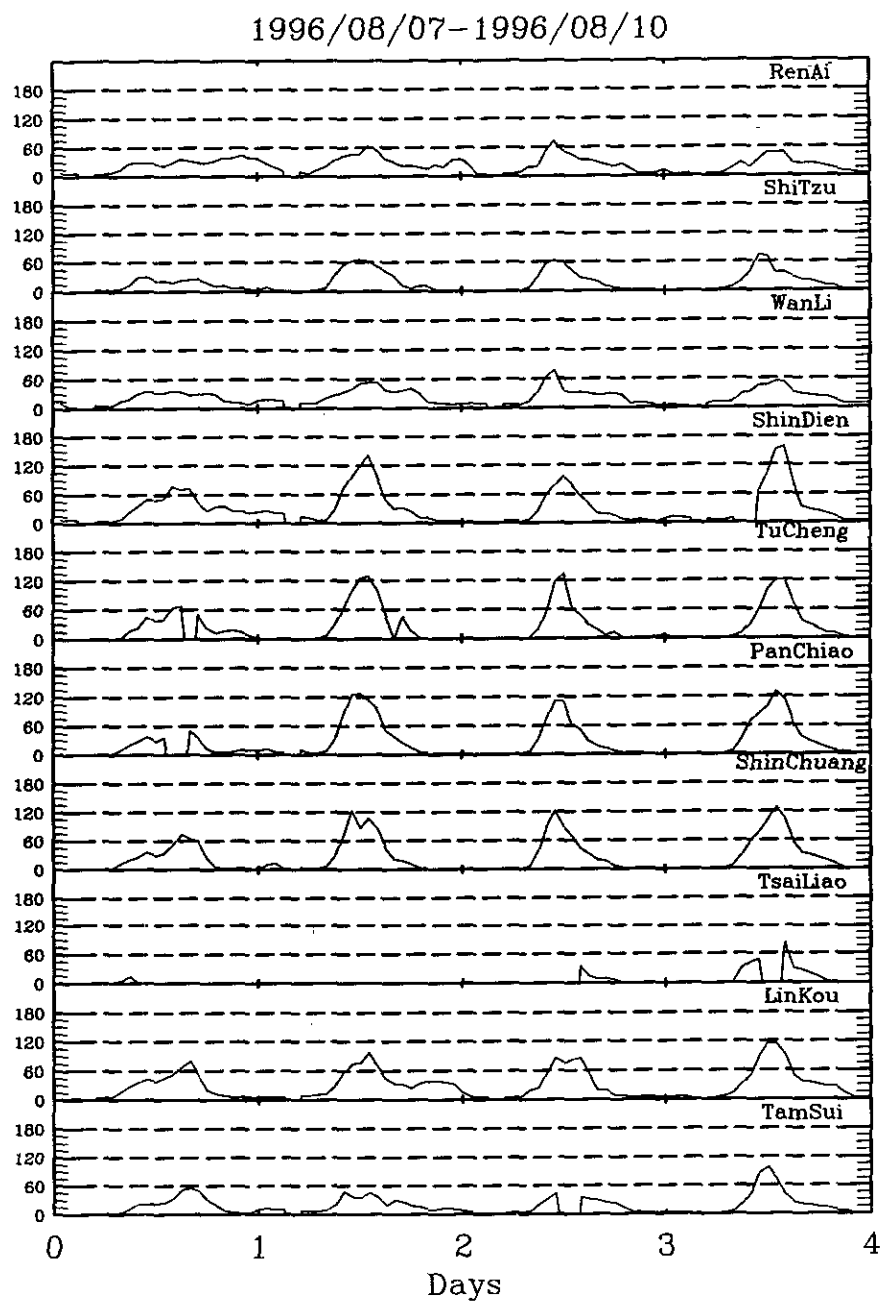


圖 3.1 北部地區案例一期間(1996 年 8 月 7 日至 10 日)臭氧濃度逐時變化圖

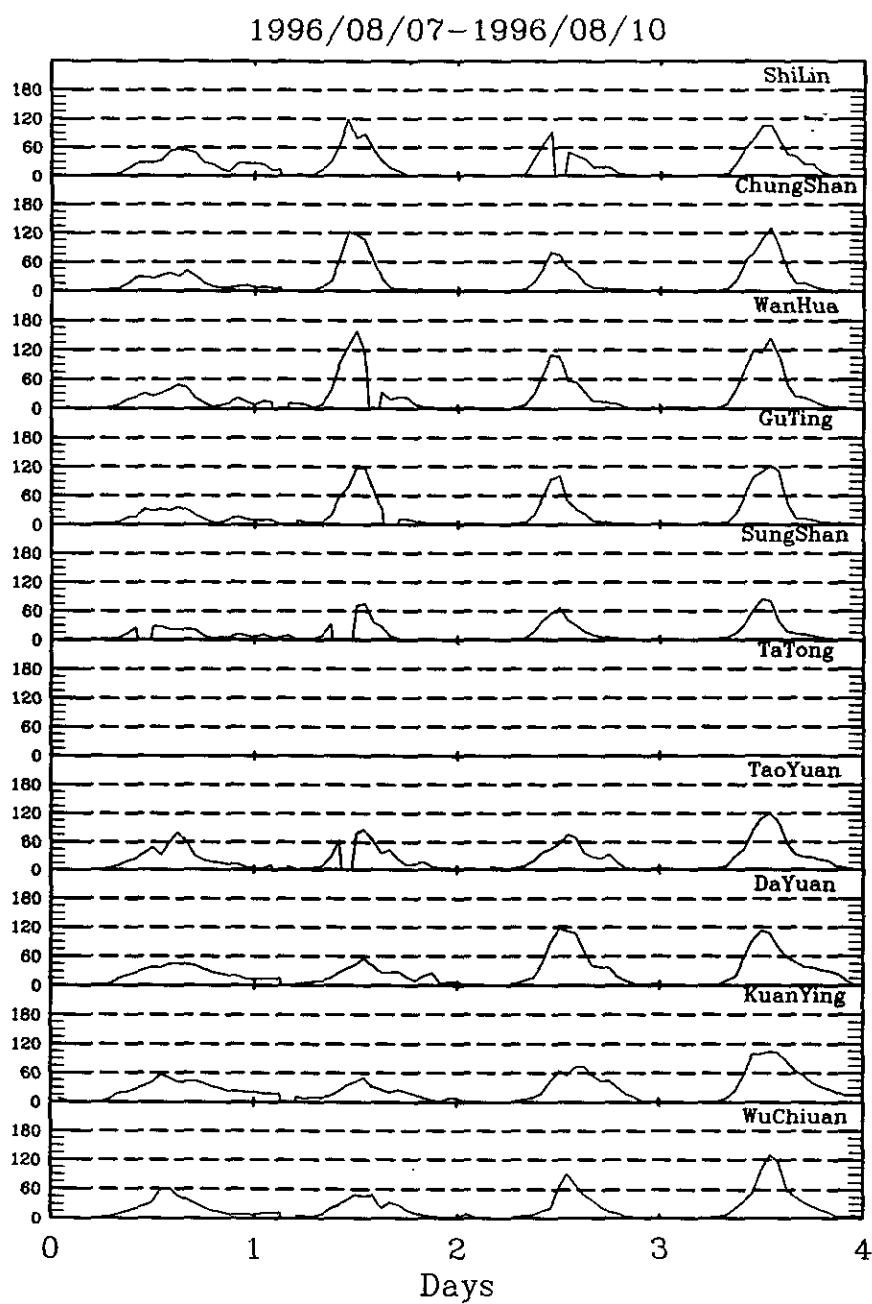


圖 3.1(續) 北部地區案例一期間(1996 年 8 月 7 日至 10 日)臭氧濃度逐時變化圖

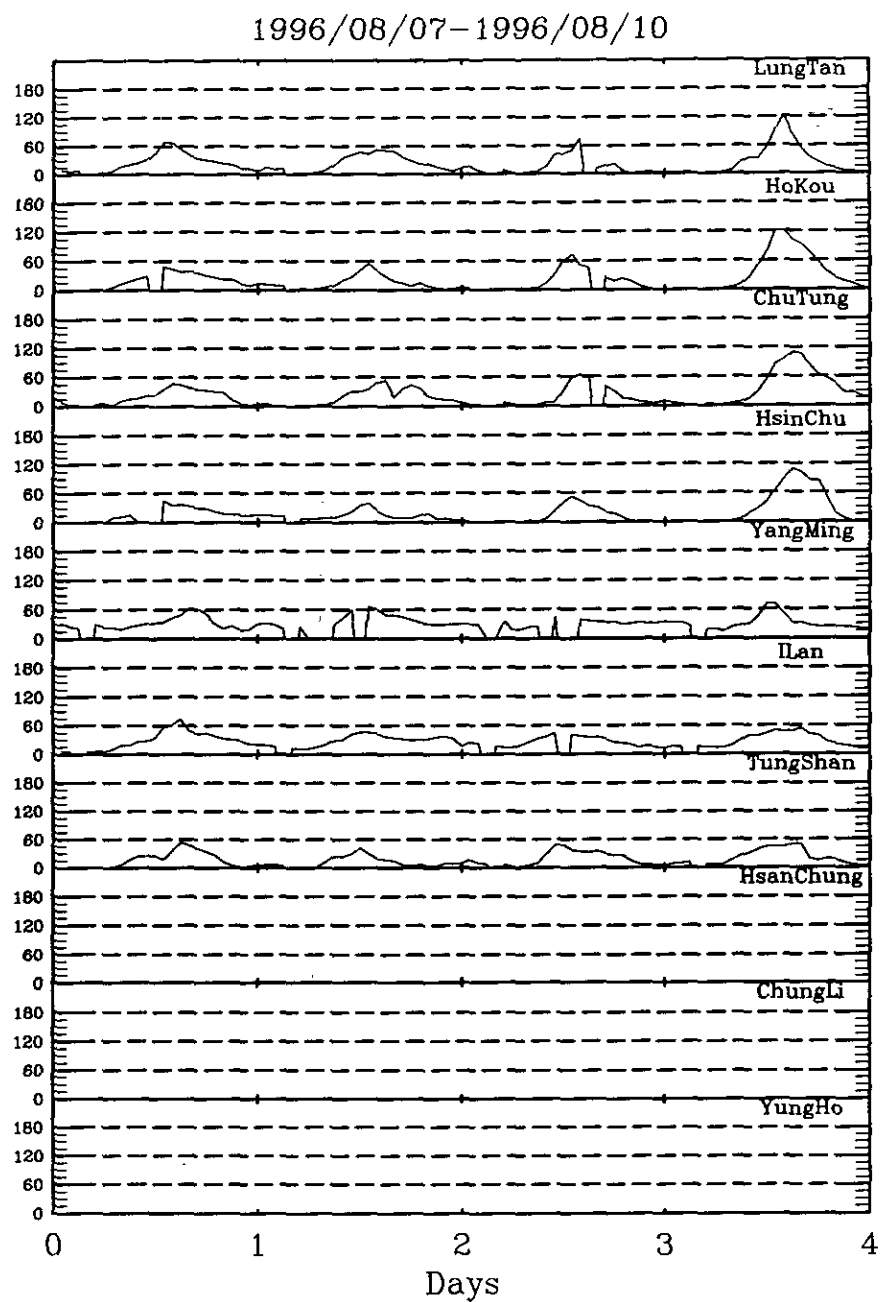


圖 3.1(續) 北部地區案例一期間(1996 年 8 月 7 日至 10 日)臭氧濃度逐時變化圖



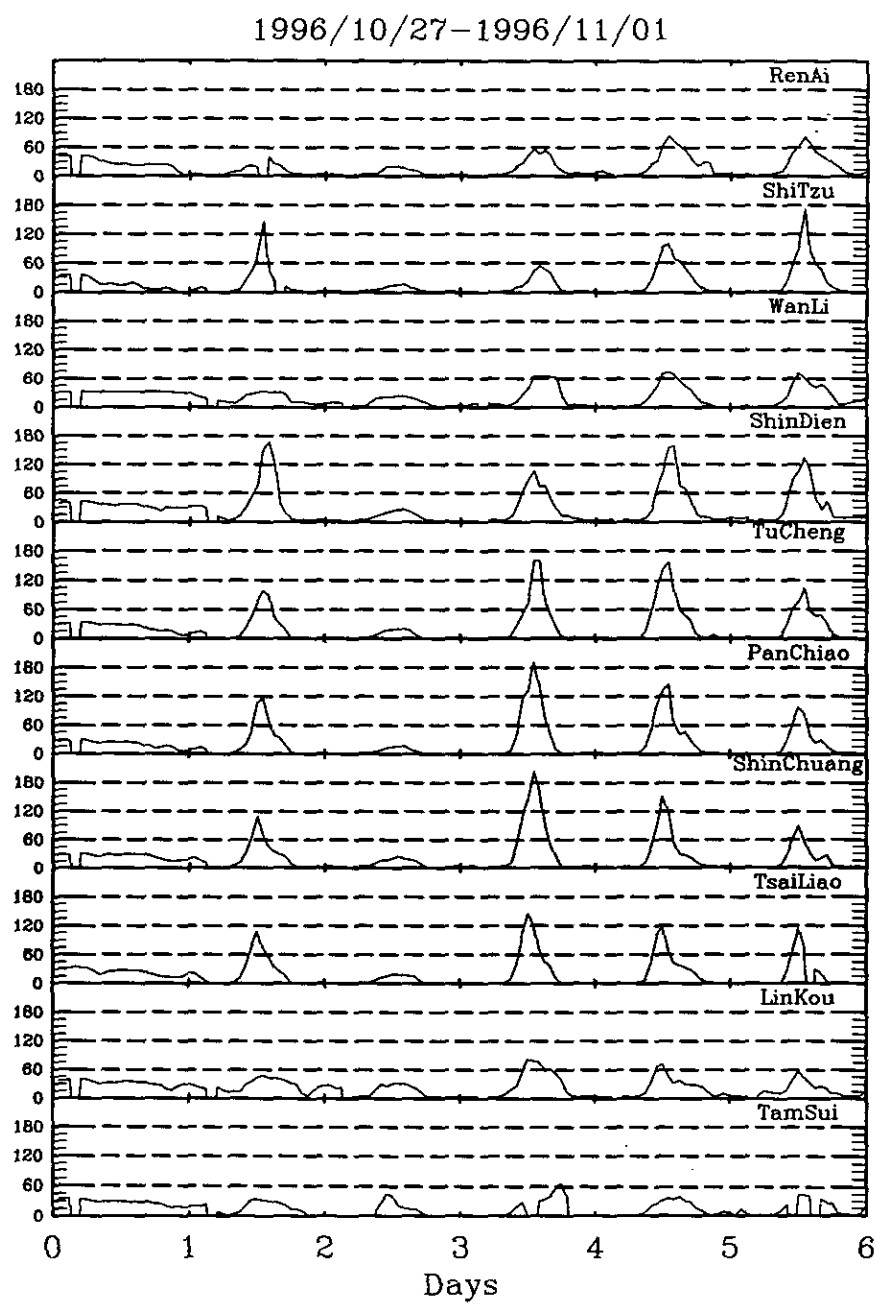


圖 3.2 北部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃度逐時變化圖

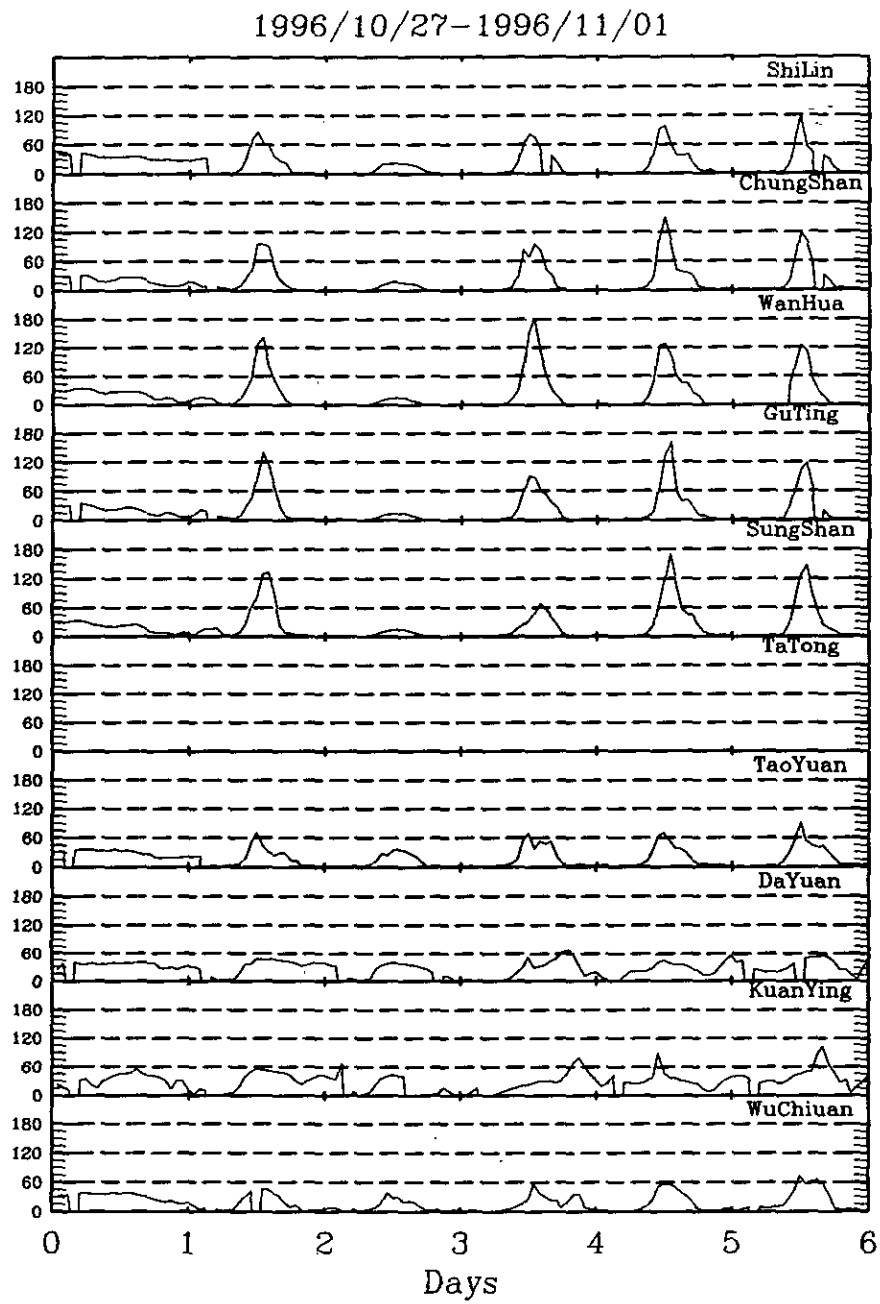


圖 3.2(續) 北部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃度逐時變化圖

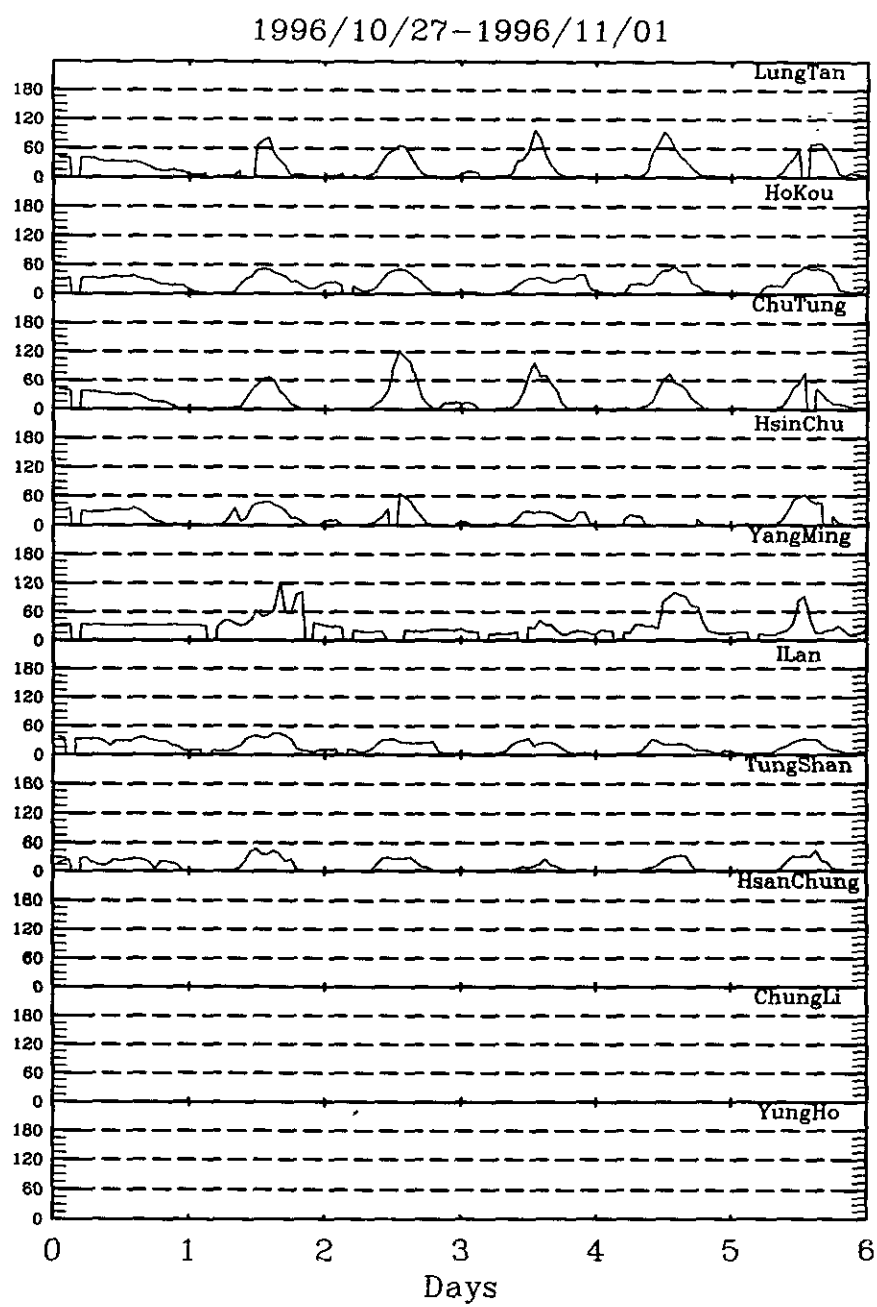


圖 3.2(續) 北部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃度逐時變化圖

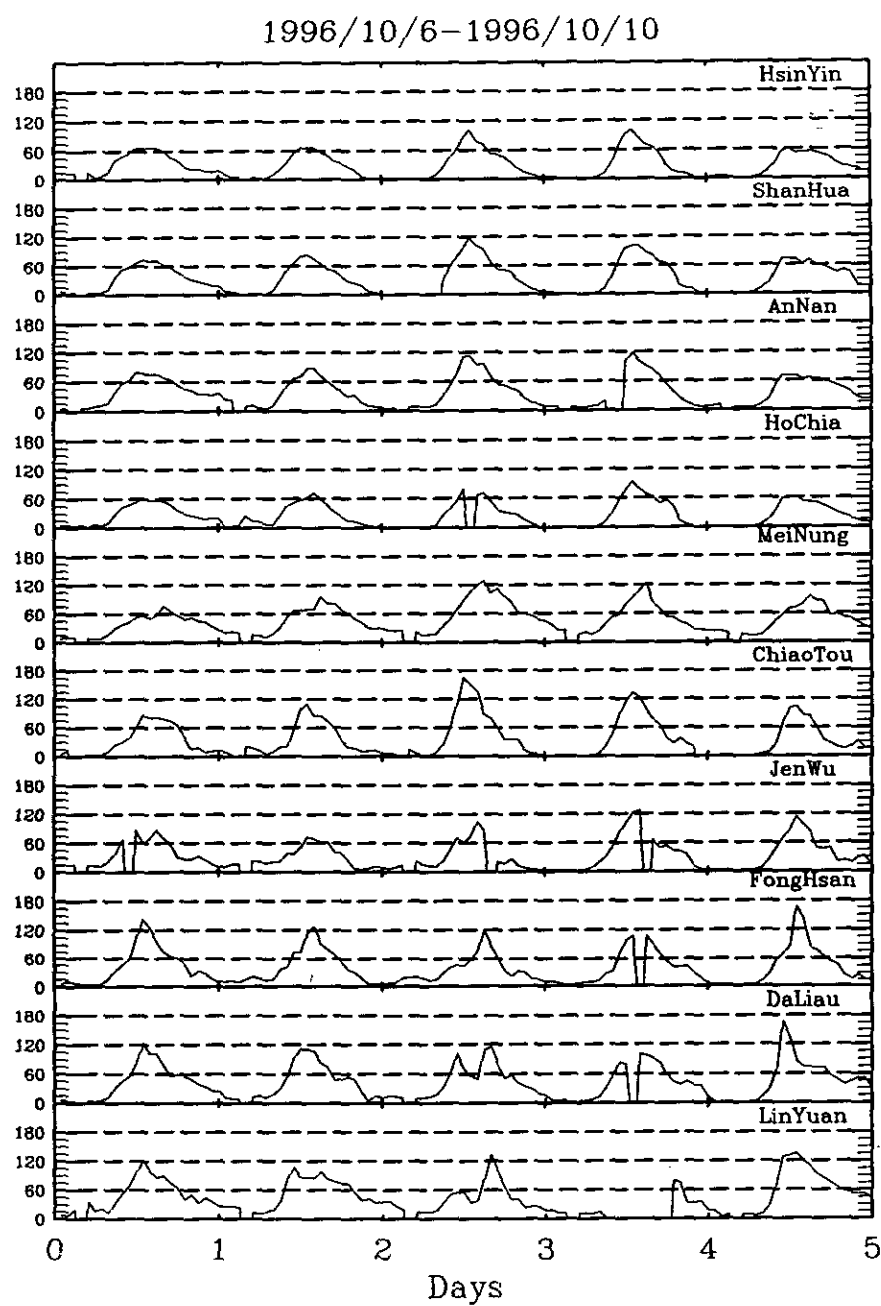


圖 3.3 南部地區案例一期間(1996 年 10 月 6 日至 10 日)臭氧濃度逐時變化圖

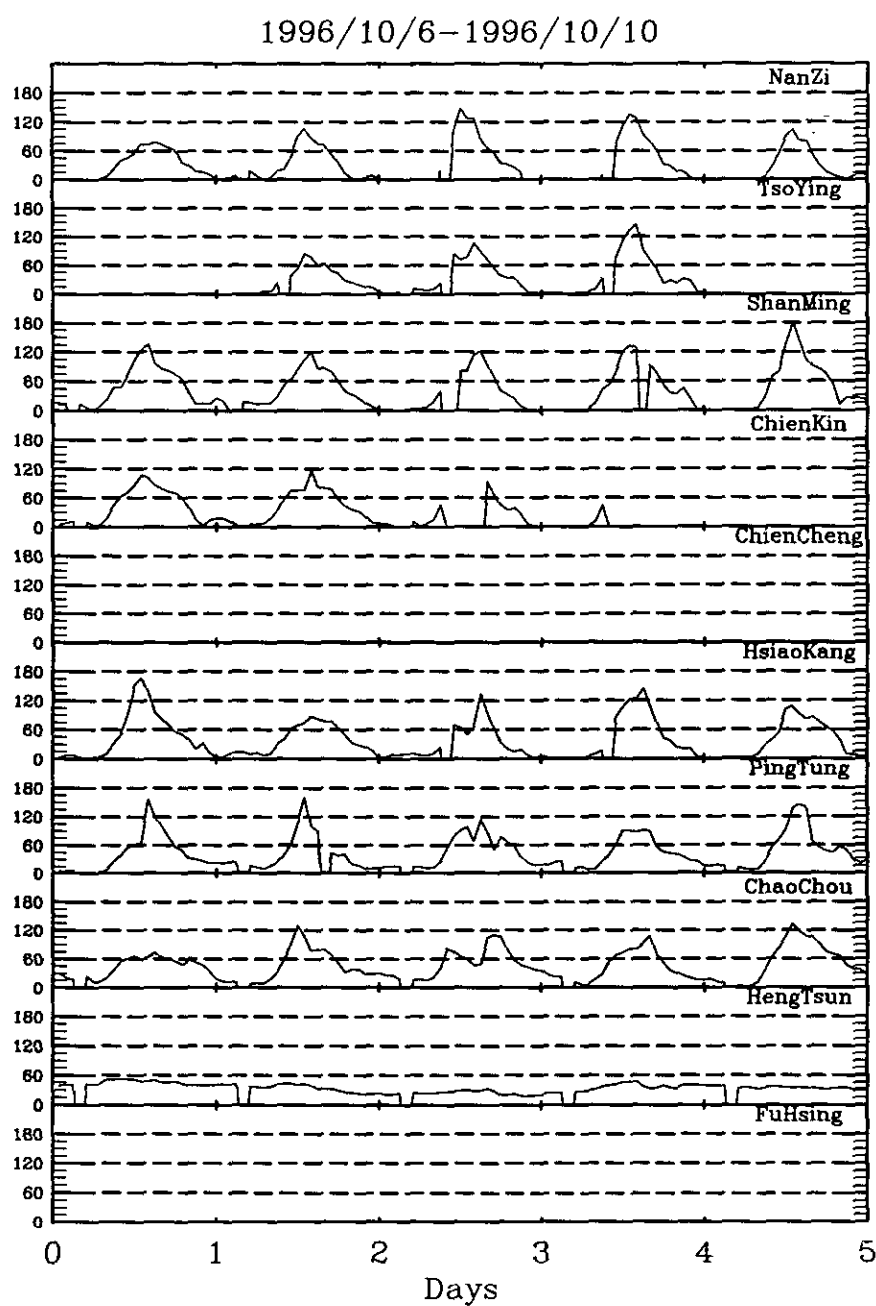


圖 3.3(續) 南部地區案例一期間(1996 年 10 月 6 日至 10 日)臭氧濃度逐時變化圖

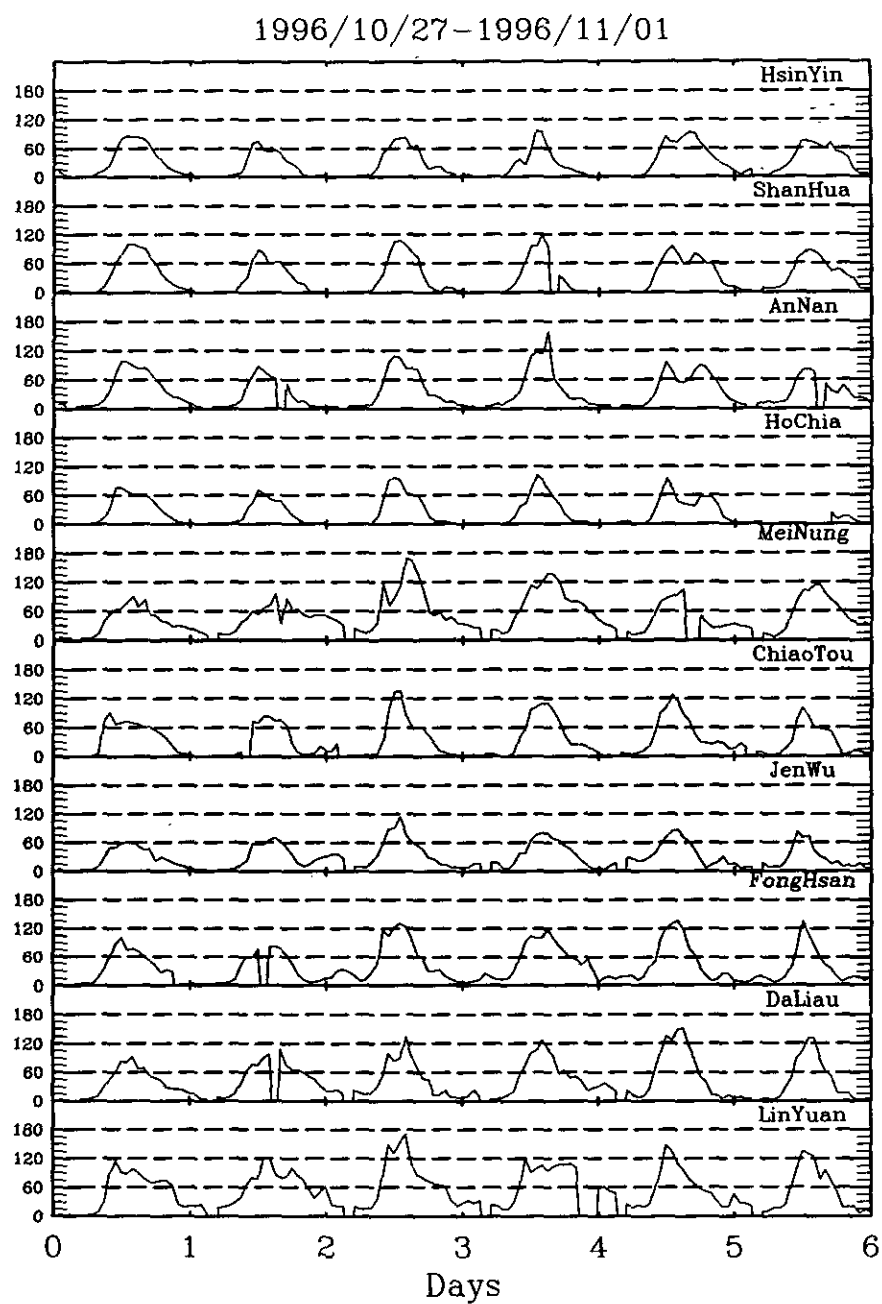


圖 3.4 南部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃度逐時變化圖

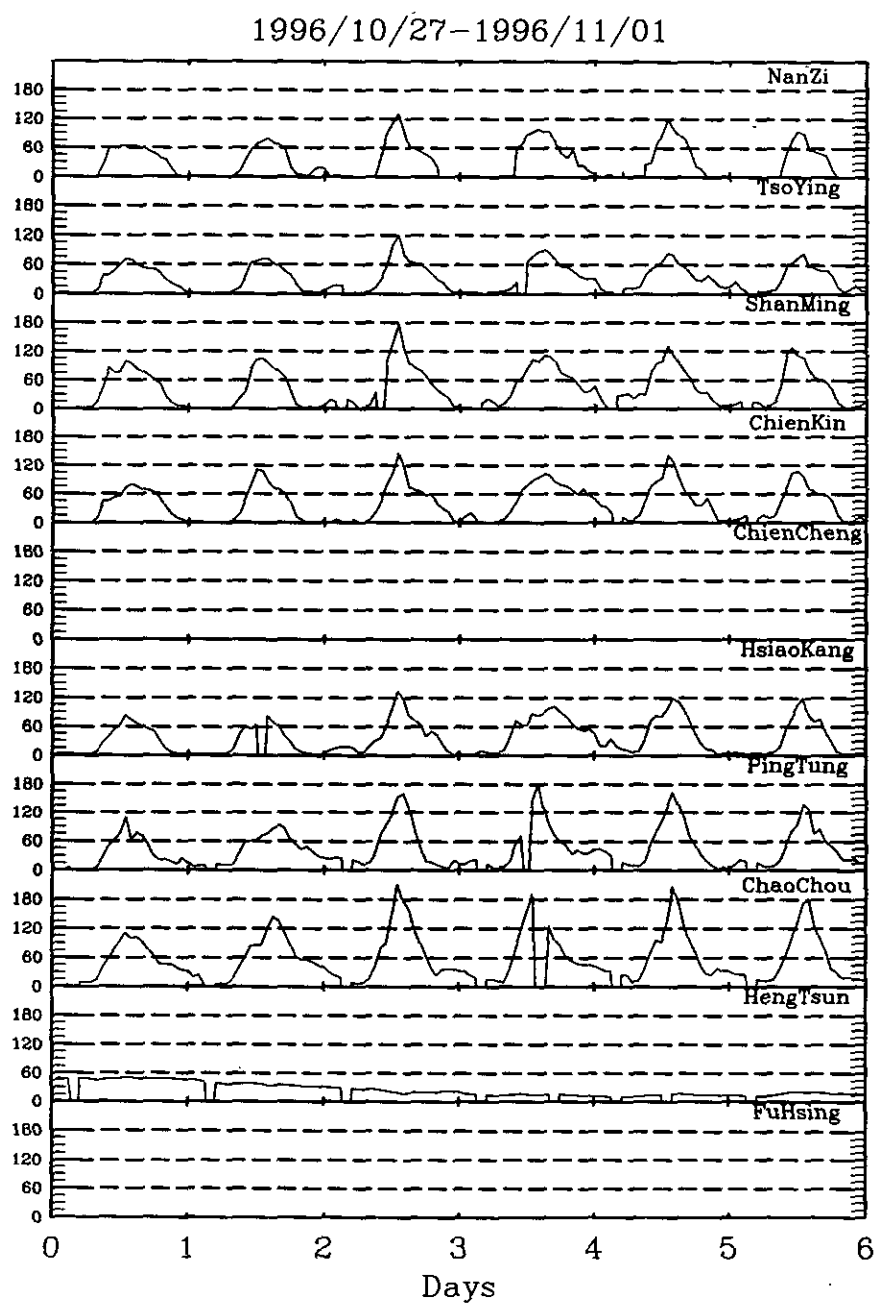


圖 3.4(續) 南部地區案例二期間(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)臭氧濃度逐時變化圖

## 第四章 氣象資料分析與討論

### 4.1 氣象模式之選用

在光化學空氣品質模式中，必須利用準確的風場和亂流場來推動污染物的傳輸與擴散計算，通常產生風場的方式可分為診斷式風場模式(Diagnostic Wind Model)和動力中尺度氣象模式(Mesoscale meteorological model)。

診斷式模式只簡單地滿足質量守恒，對於動量守恒方程式則無法完全滿足。診斷式模式必須輸入觀測資料；如果觀測資料較為密集，可將所得的測站資料值先經客觀分析後，再使其符合質量守恒(如Sherman和Mathew屬於此類)；如果觀測資料較為稀疏或缺乏，則須配合一些參數化(parameterization)公式，建立風場之猜值，再修正風場使其符合質量守恒(如SAI所發展的DWM)。一般而言，診斷式模式計算較為簡單，但無法符合所有的制御方程式，其風場的正確性往往取決於觀測資料的密度和品質。而且診斷式模式無法預知未來氣象的發展，只可以簡單地提供穩定狀態(steady state)或近似穩定狀態(quasi steady state)狀況下較好的風場估計。

預測式模式(Pielk, 1984)建立在基本的物理守恒定律上，包括質量、動量、能量及其它成份的守恒定律。將模式依特定的情況予以簡化，使其有效率的處理問題，並使模擬的結果較容易理解及分析。預測式模式具有預測的能力，可用於各種地形條件，求出因地形造成的渦流及熱擾動之間的非線性交互作用，進而推算三維風場分佈。過去此類模式常因計算複雜，所以在空氣污染應用較少，但近年來計算機更新迅速，計算時間已大幅度的縮減，大部份光化學空氣品質模式已改用中尺度氣象模式計算結果來推動擴散模擬。

過去我們曾使用SAI公司之DWM氣象模式求出風場，並輸入UAM-IV模式進行模擬，結果發現無法反應台灣地區的一些特性等，因此在此一計畫中我們採用中尺度氣象模式準備氣象輸入資料。

目前有許多中尺度氣象模式，各種模式均有其優缺點，表4.1列出一些中尺度氣象模式、其發展單位及過去在空氣品質應用的例子。



表 4.1 中尺度模式及其在空氣品質模擬應用

模式	發展單位	網格間距	空氣品質模式應用
MM5	NCAR/PSU	1-100 km	單一事件至季節性的空氣品質評估，為 MODELS3 中之主要氣象模式。
RAMS: The Regional Atmospheric Modeling System	CSU/Mission Research Corp.	100 m -100 km	LES, 密西根湖和 OTAG 臭氧模擬, Chesapeake 灣沉降模擬, 意外事件模擬
HOTMAC	Yamada Science and Art	1-20km	複雜地形污染物擴散、點煙流模擬
ARPS :Advanced Regional Prediction System	U. Oklahoma	1-10 km	主要用於暴雨的模擬
Eta	NWS/NCEP	10-32 km	區域(regional)模式
LAPS: Local Analysis and Prediction System	NOAA/FSL	10 km	非標準的氣象資料的高解析度分析，以用於緊急事見評估
MAPS/RUC : Mesoscale Analysis and Prediction System	NOAA/FSL	40 km	區域分析及預測、能見度分析

經比較後，本研究中所使用的氣象模式為美國科羅拉多州立大學(Colorado State University)所發展出的區域大氣模式系統(The Regional Atmospheric Modeling System, RAMS)。RAMS 是根據原始方程式為基礎所發展出的中尺度氣象模式，可依據模擬的需求選擇各種不同的物理過程及數值方法，加上具有多重巢狀網格功能(Clark and Farley, 1984)，故模擬範圍十分具有彈性（範圍涵蓋大渦旋至中尺度對流系統），廣泛適用於中尺度氣象之研究如：模擬或預報氣象之相關研究或作為空氣品質模式之風場前處理。並可利用四維資料同化( four-dimensional data assimilation ) 將氣象觀測資料併入 RAMS 以修正風場。模式產生的三維風場經處理後可作為光化學空氣品質模式如 CAMx 或 UAM-V 的輸入資料，此一模式能符合本計畫之須求。RAMS 原理於附錄 A 中有詳細的說明。

## 4.2 RAMS 模式使用方法和輸入資料之來源

RAMS 對各個過程提供多種選項(options)，因此使用者可以針對所要解決的問題，選擇合適的方法，以得到最佳的結果。表 4.2 列出主要功能和其選項，用粗體字標示者，為此一研究所用的方法。

表 4.2 本研究中所用的 RAMS 選項

項目	使用方法
制御方程式	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 可壓縮、非淨力</li> <li>● 靜力(可壓縮或不可壓縮)</li> </ul>
維度	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 三維</li> <li>● 二維</li> </ul>
垂直座標	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Terrain following <math>Z^*</math></li> <li>● 標準直角座標</li> </ul>
水平投影	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Rotated polar-stereographic transformation</li> <li>● 標準直角座標</li> </ul>
網格結構	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Arakawa-C grid stagger</li> <li>● 不限的巢狀網格</li> <li>● 使用者指定的空間和時間巢狀縮比</li> <li>● 可以增加或刪除巢狀網格</li> <li>● 移動的巢狀網格</li> </ul>
時間差分	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Leapfrog</li> <li>● 前向插分</li> <li>● 混合</li> </ul>
亂流閉合	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Deformation/stability-based(Smagorinsky-Lilly)</li> <li>● Turbulent kinetic energy(Mellor-Yamada Type)</li> <li>● Turbulent kinetic energy(Deardorff type)</li> </ul>
冷凝	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 網格點完全飽和或未飽和</li> <li>● 沒有冷凝</li> </ul>
輻射	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Chen-Cotton(1988) long/shortwave model</li> <li>● Mahrer and Pielke(1977) long/shortwave model</li> </ul>
雲微物理	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 暖雨程序(warm rain process)</li> <li>● 五種冰冷凝物種</li> </ul>

下方邊界條件	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地面層相似率(Louis, 1979)</li> <li>● Tremback/Kessler(1985)土壤、溫度、濕度模式</li> <li>● 植物溫度、濕度模式</li> </ul>
上方邊界條件	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 剛性頂蓋</li> <li>● Raleigh 磨擦層</li> <li>● 預測地面壓力</li> <li>● 重力波輻射條件</li> </ul>
側向邊界條件	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Klemp and Wilhelmson(1978) 輻射條件</li> <li>● Orlanski(1976) 輻射條件</li> <li>● Klemp and Lilly(1978) 輻射條件</li> <li>● Davis(1976) 逼近條件(nudging condition)</li> <li>● 周期條件(Cyclic conditions)</li> </ul>
初始化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 水平均勻</li> <li>● 等位溫層結合網格及觀測資料之分析場</li> <li>● 將網格資料插值到氣象模式的網格</li> </ul>

RAMS的計算流程和所須輸入資料如圖4.1所示。必須先準備全球等壓層三維網格氣象場和地面、高空觀測資料及其他地面條件的資料，這些資料來源在表4.3中加以說明。氣象資料經處理後，用於模式的初始條件、邊界條件和四維資料同化(FDDA)。資料輸入RAMS中進行動態模擬，所求出之資料量相當龐大，可利用科學可視化(Scientific visualization)軟體繪圖輸出，或經轉換後作為CAMx模式之輸入資料。

### 4.3 模擬區域和網格結構

此一研究採用三層的巢狀網格，其範圍、格點數和格點間距如表 4.4 所示。網格分為三層，各層網格所包圍的區域可由圖 4.2 看出，最外層的網格南起菲律賓，北部北到上海，西至香港，往東則包含琉球群島；而台灣則位於此一區域的中心。第二層網格則涵蓋整個台灣島，第三層網格有兩個，分別為北部和南部兩個空氣品質模擬區域。

圖4.1 RAMS之計算流程

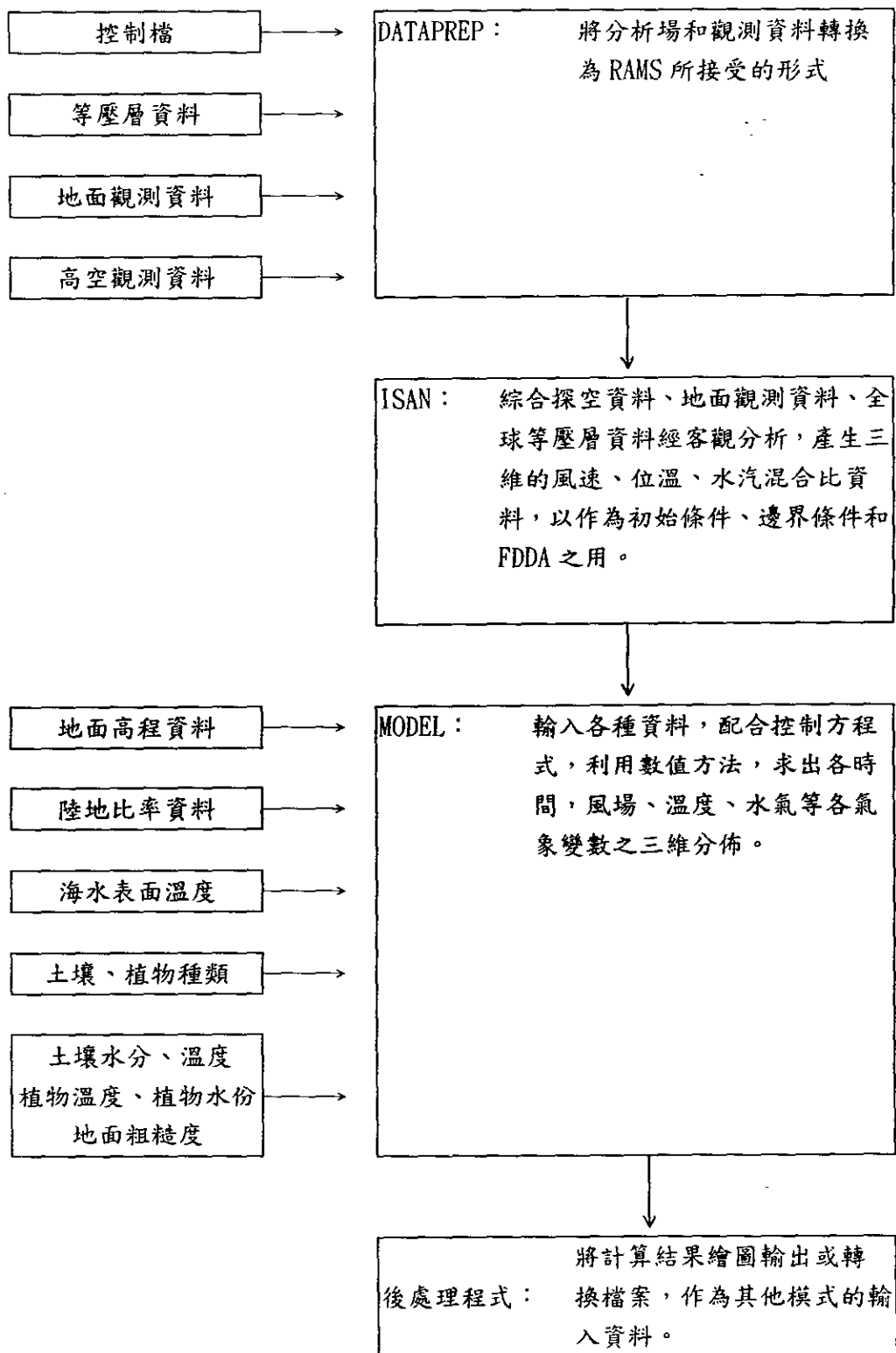


表 4.3 RAMS 的輸入資料和來源

檔案名稱	資料說明	來源
等壓層三維 網格氣象場	NCEP Global Tropospheric Analyses, 2.5 度規則經緯網格，垂直含地面及高空 13 層，每日兩次 00Z 和 12Z。	NCAR DSS ( <a href="http://www.scd.ucar.edu/dss/">www.scd. ucar.edu/dss/</a> ) Dataset ds082.0
探空氣象資 料	NCEP ADP Global Upper Air Obs. NCEP 由 GTS 收集資料並進行一些品管後 建檔，每日兩次 00Z 和 12Z。	NCAR DSS Dataset ds353.1
地面氣象資 料	NCEP ADP Global Surface Obs., NCEP 收集資料。並進行一些品管後建檔。	NCAR DSS Dataset ds464.0
地形高程	USGS 30sec Global Elevation Data, GTOP030	<a href="http://edcwww.cr.usgs.gov/landdaac/gtopo30/gtopo30.html">http://edcwww.cr. usgs.gov/landdaac /gtopo30/gtopo30.html</a>
網格內陸地 比率	由土地使用資料，算出解析度達 30sec。	
海水面溫度	用 RAMS 內存資料，解析度 10min。	
地表粗糙度	依土地使用資料求出。	
土壤種類	假設為沙、黏、壤土混合。	
植物種類	由 USGS AVHRR 全球土地使用及覆蓋資料 決定，解析度達 30sec。	
初始土壤溫 度、含水量	土壤含水量初始值自行假設，並依模擬結果 調整其值。土壤溫度亦依深度加以假設。	
初始植物溫 度、含水量	植物溫度初始值假設與大氣溫度同。	

表 4.4 巢狀網格之範圍、格點數和格點間距。

網格編號	1	2	3(南部)	3(北部)
東西向間距(km)	36	9	3	3
東西向間距(km)	36	9	3	3
東西向格點數	50	46	50	50
南北向格點數	50	58	54	46
垂直向格點數	27	27	27	27
西南角經緯度	(110.25,13.13)	(118.62,20.91)	(119.83,21.61)	(120.63,24.53)
東北角經緯度	(133.65,33.99)	(123.97,27.05)	(121.25,23.04)	(122.09,25.74)

## Simulation Domains

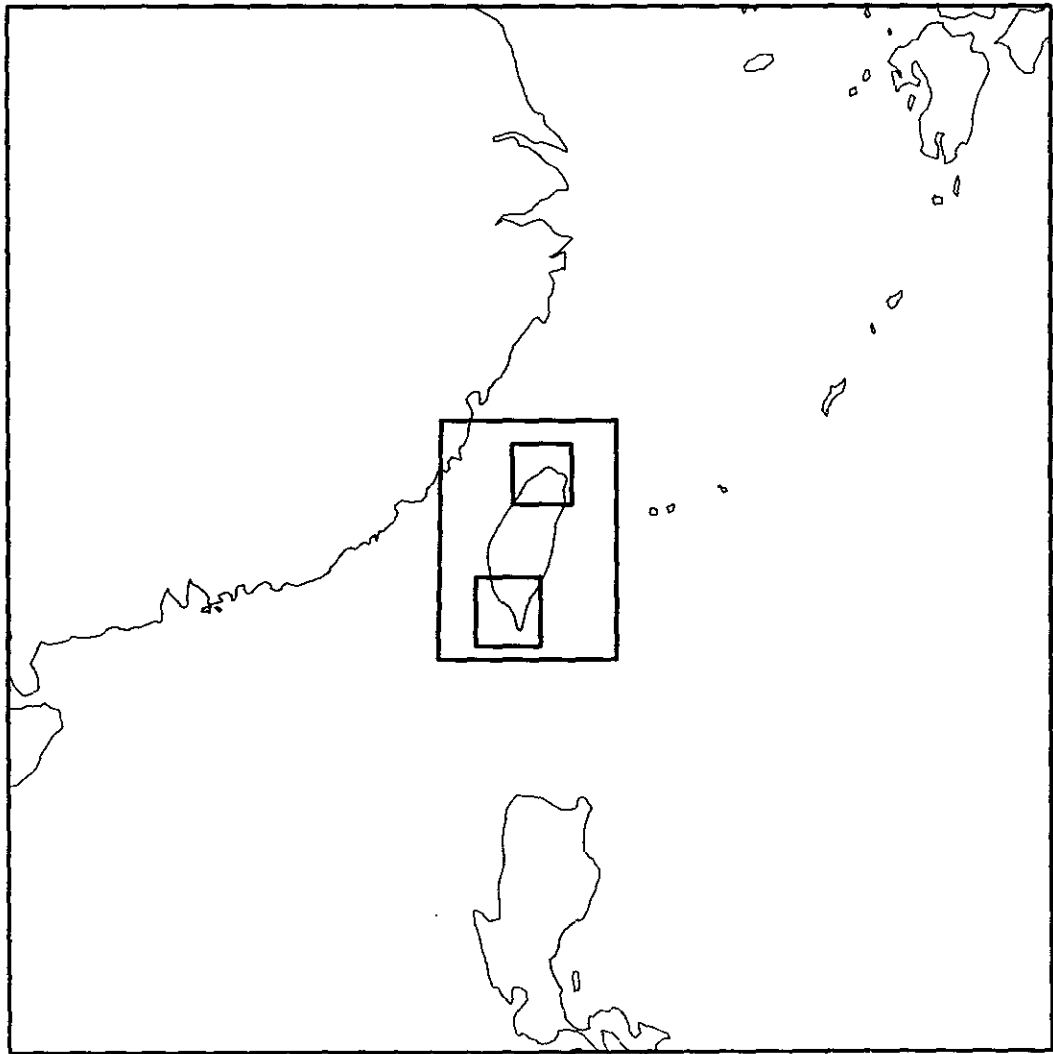


圖 4.2 氣象模擬所用的巢狀網格

圖 4.3 為第二層網格內的地形圖，第二層網格主要為台灣地區。圖上較粗的線條為縣市界，而較細的線條則為等高線。地形高程由 USGS 30 秒(約 1 公里間隔)的地形高程資料求出，圖上等高線比實際的地形平滑，此乃因為將網格內各高程加以平均，並濾除波長小於四倍網格間距之短波所致。

圖 4.4 為北部的空氣品質模擬區，主要範圍為新竹和宜蘭以北的各縣市並包含北方之海面直到澎佳嶼附近，。

4.5 則為南部細部的空氣品質模擬區，包含台南縣市、高雄縣市和屏東縣，東邊有陡峭的山脈，西邊則為台灣海峽。此地的氣流受複雜地形與海陸風環流影響極大，對污染物的擴散也有重要的影響(林,1999)。

在模擬範圍內之地面氣象測站和高空測站之位置及代碼如圖 4.6 和圖 4.7 所示，在模擬範圍內探空測站約有 22 站，地面測站則有一百多站，這些資料和網格分析資料合併，建立較精細的分析場，以供模式初始化和資料同化應用。在使用前都經簡單的判斷，誤差太大之資料必須刪除不用。

## 4.4 北部地區氣象模擬結果討論

### 4.4.1 案例一(1996 年 8 月 7 日至 8 月 11 日)

圖 4.8 至圖 4.11 為 1996 年 8 月 7 日至 8 月 11 日用 RAMS 模式所求出的海平面氣壓及地面風場分佈圖。8 月 7 日 00Z 開始模擬，所以圖 4.8 為利用全球分析場和觀測資料經客觀分析所得到的分佈，圖上海平面氣壓有較大之擾動，且風速較高，但風向與後續的模擬結果仍然類似。

受到熱帶性低壓氣旋的影響，在這一段時期台灣海峽南部為西南風，北部海面為西風，東部海面為西北風，巴士海峽則為西風。由 8 月 8 日開始在台灣東邊的熱帶氣旋逐漸增強，並往北移動，因此也對台灣地區的風場產生影響，8 月 9 日開始南部和東部風速加強，但北部地區風向卻逐漸減弱，此種現象一直持續到 10 日，北部地區可能因為風速緩慢，而產生較嚴重的空氣污染。

Grid #2

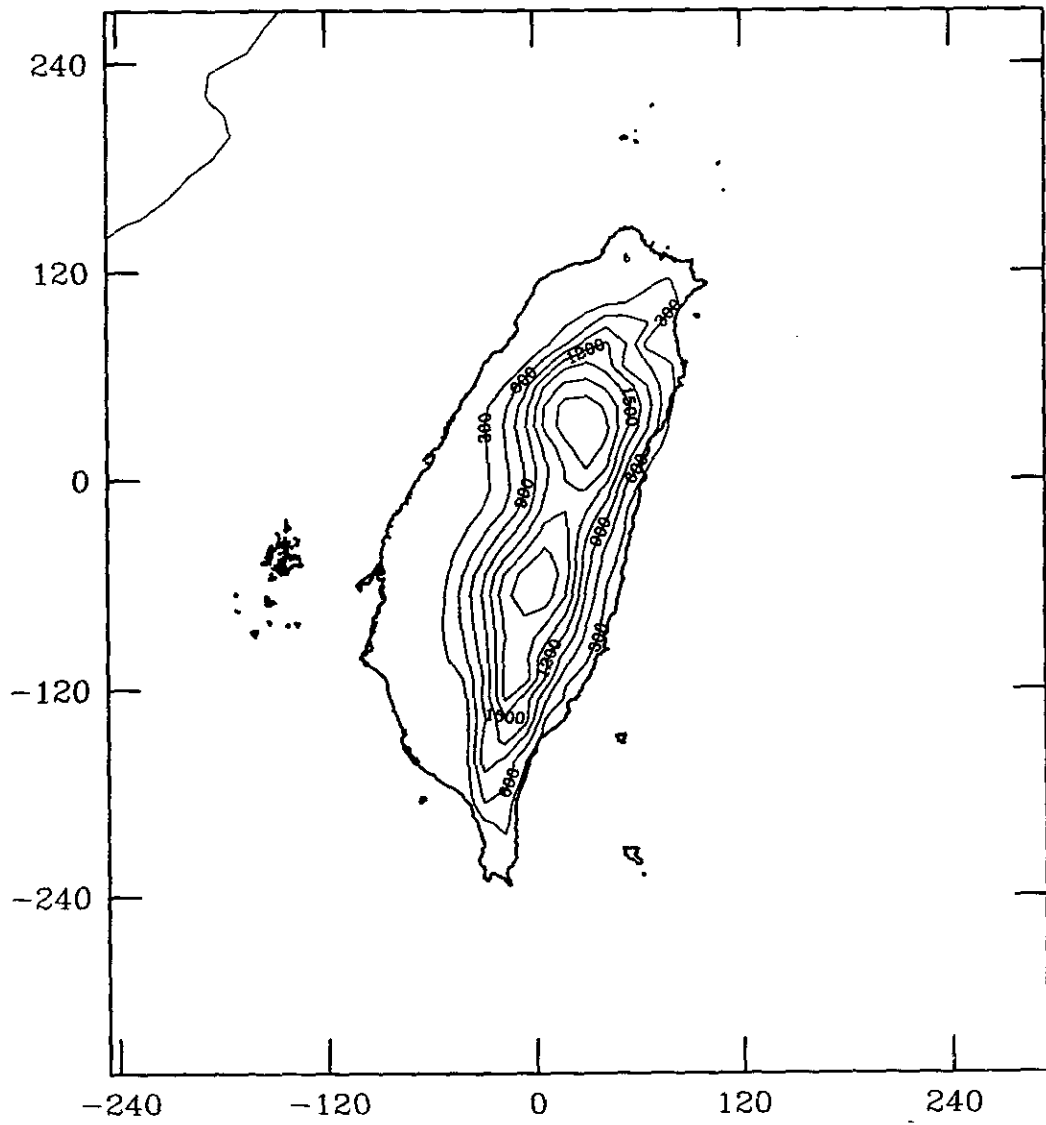


圖 4.3 第二層網格內的地形圖



Grid #3 (North)

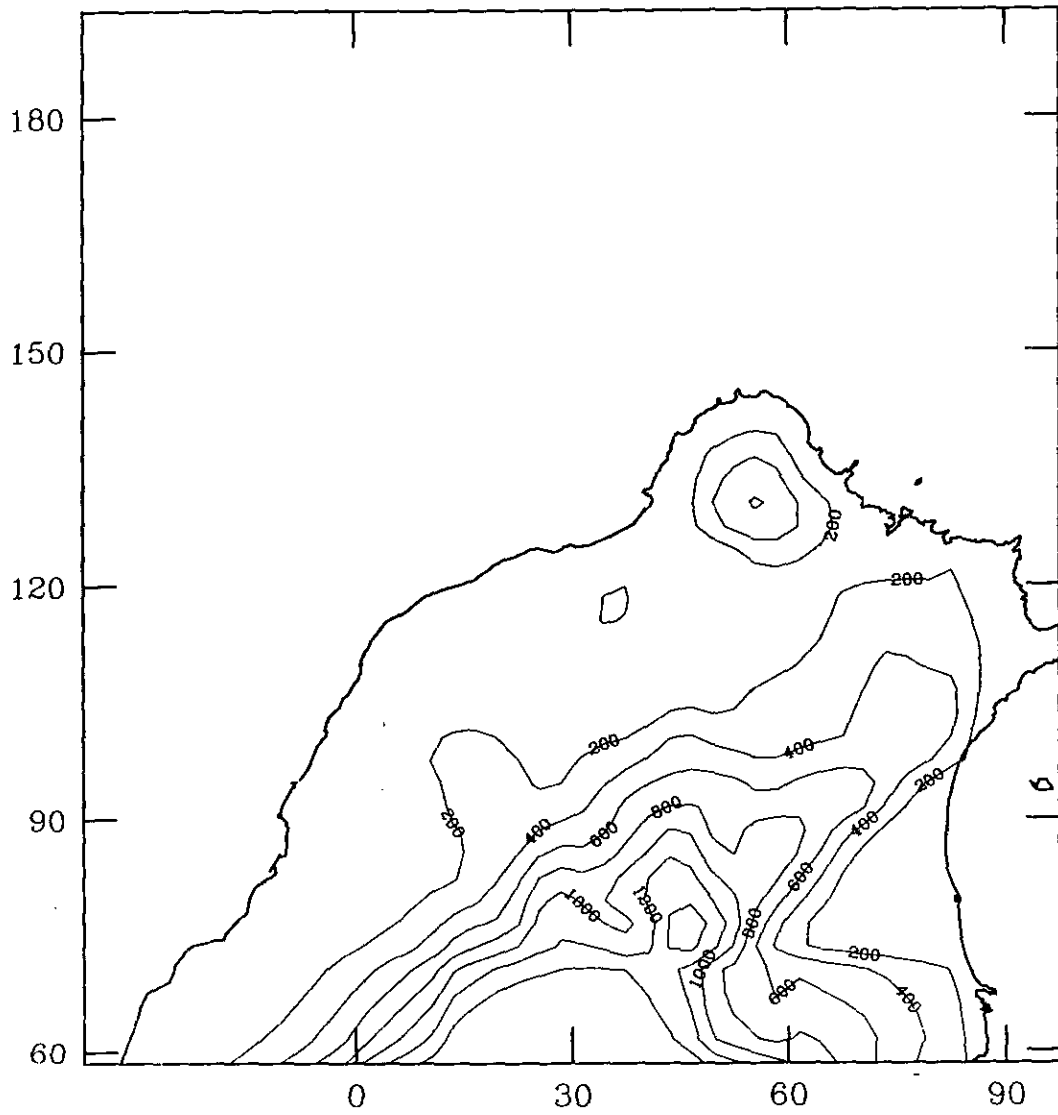


圖 4.4 北部第三層網格內的地形圖

Grid #3 (South)

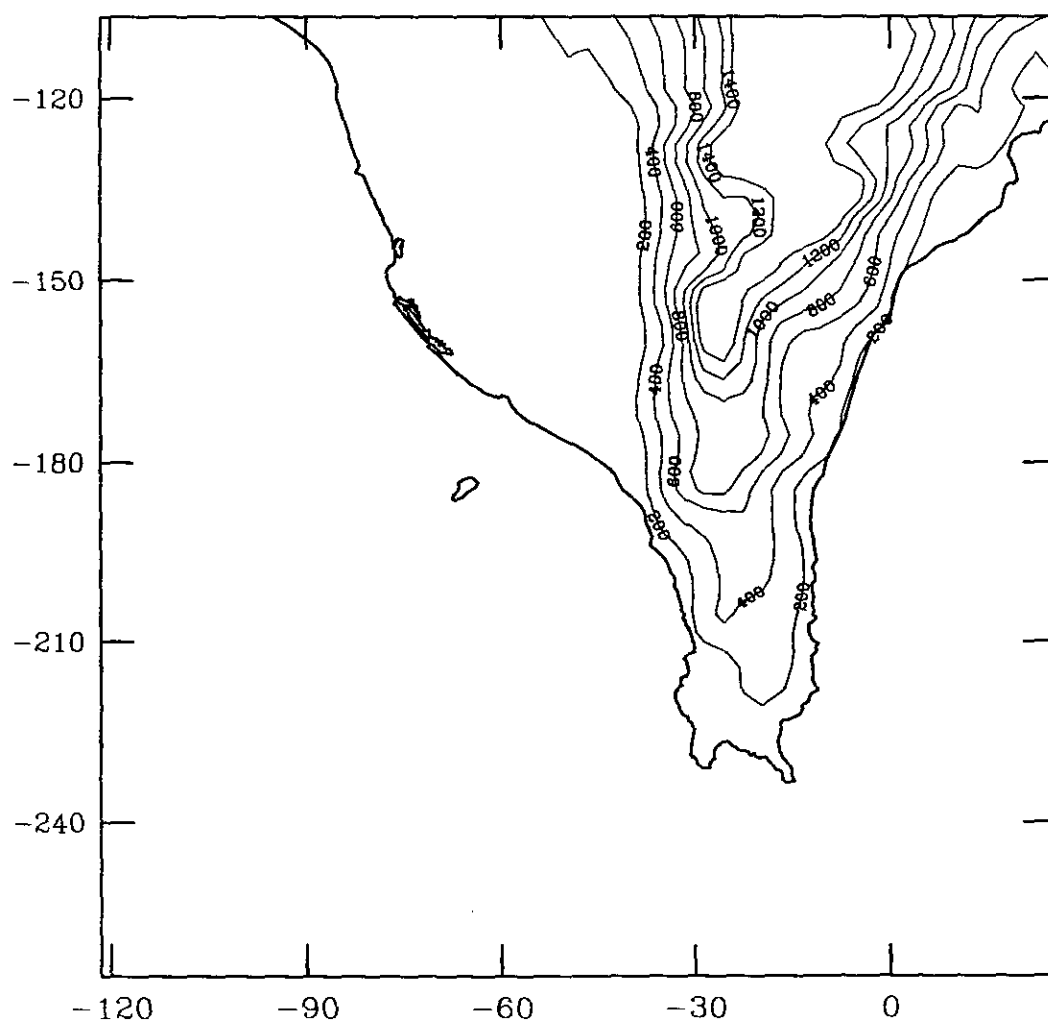
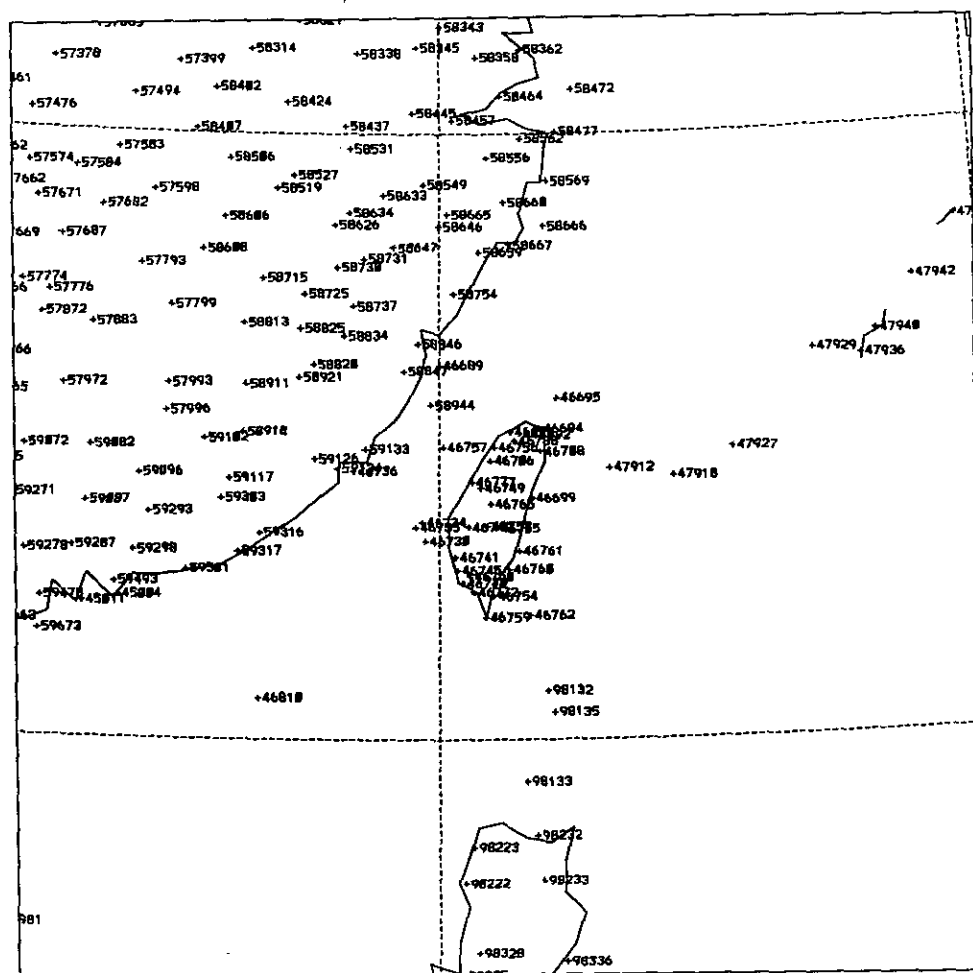


圖 4.5 北部第三層網格內的地形圖



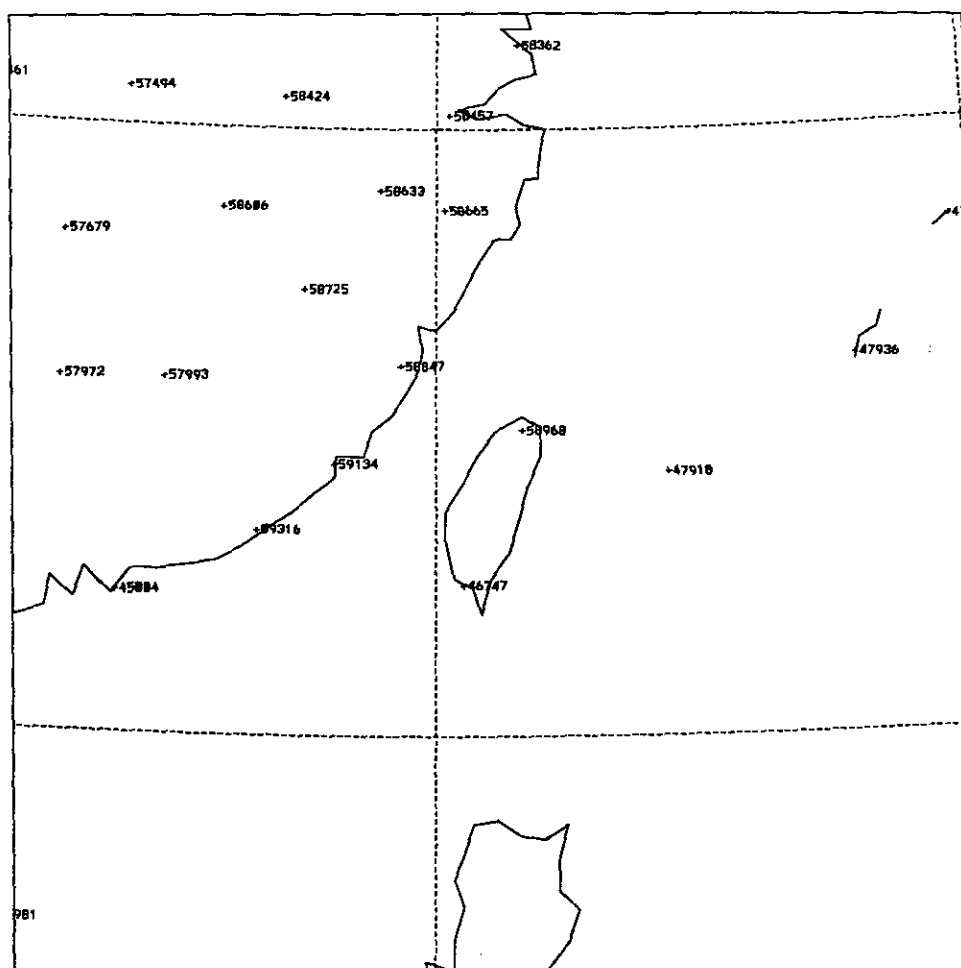
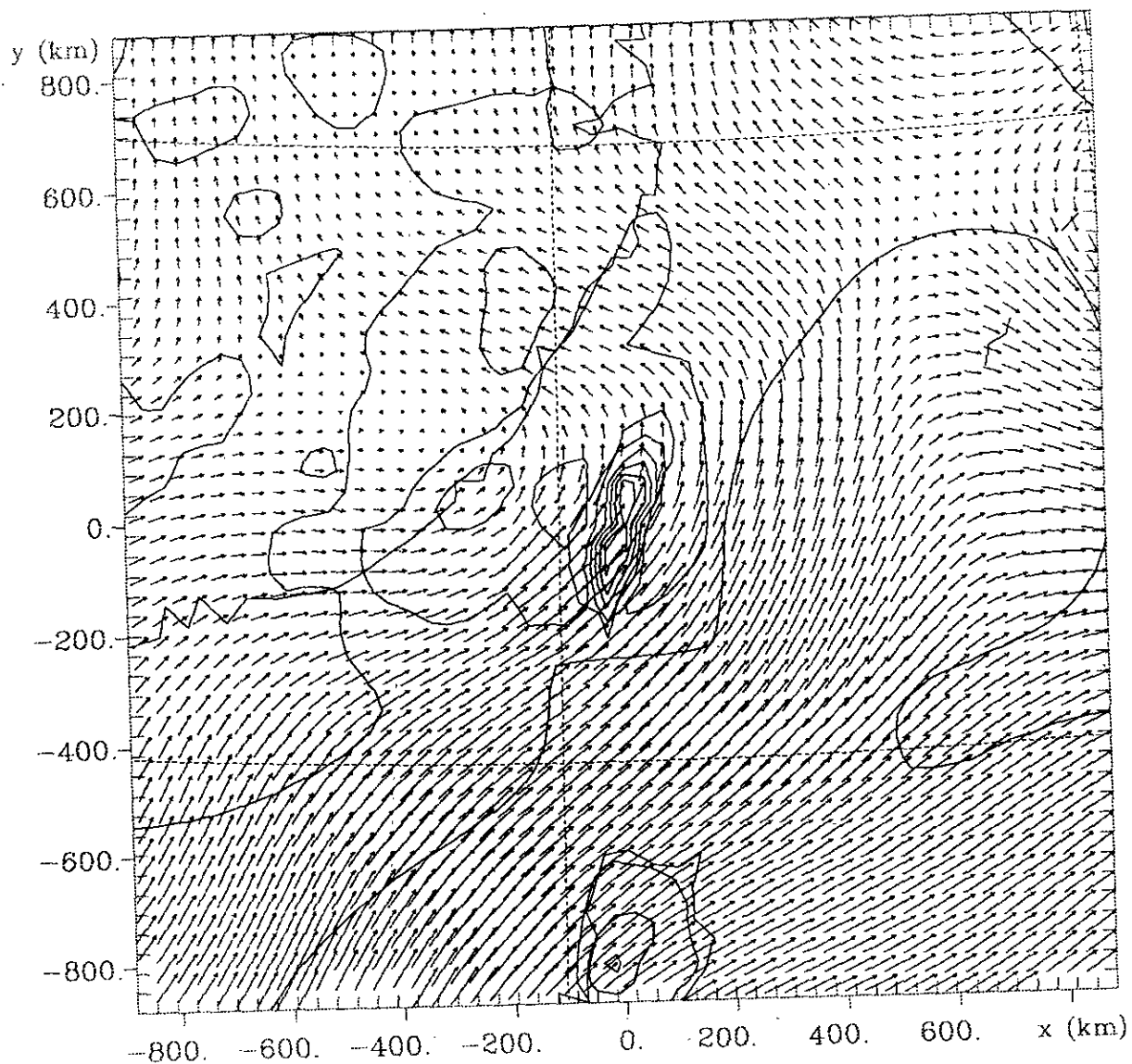
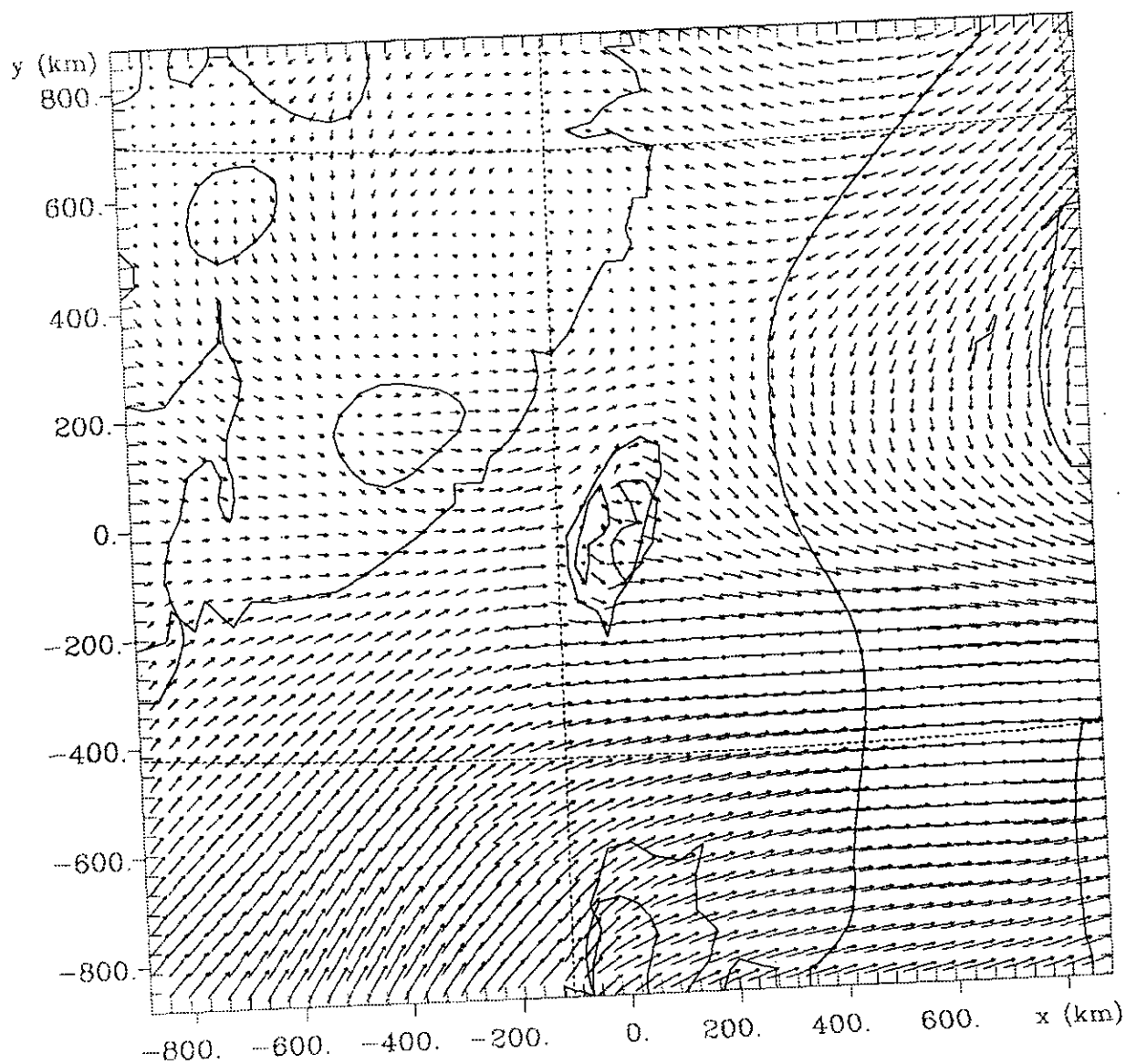


圖 4.7 模擬範圍內之高空測站之位置及代碼



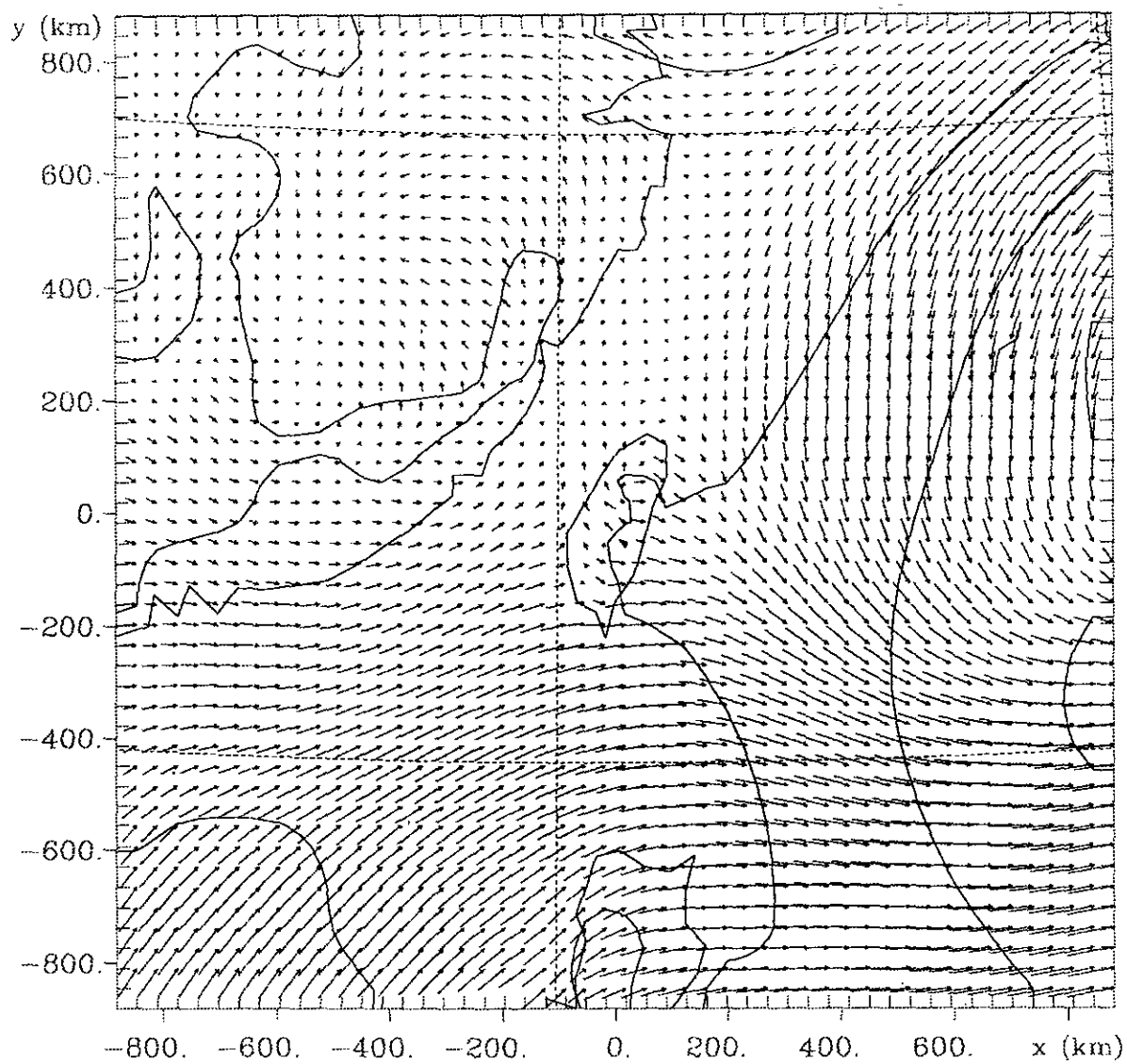
contours	sea level pressure (mb)	1004.	1014.	2.000	1e 0
vectors	—	5.0 m/s horiz	5.00 m/s vert		

圖 4.8 1996 年 8 月 7 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分佈圖



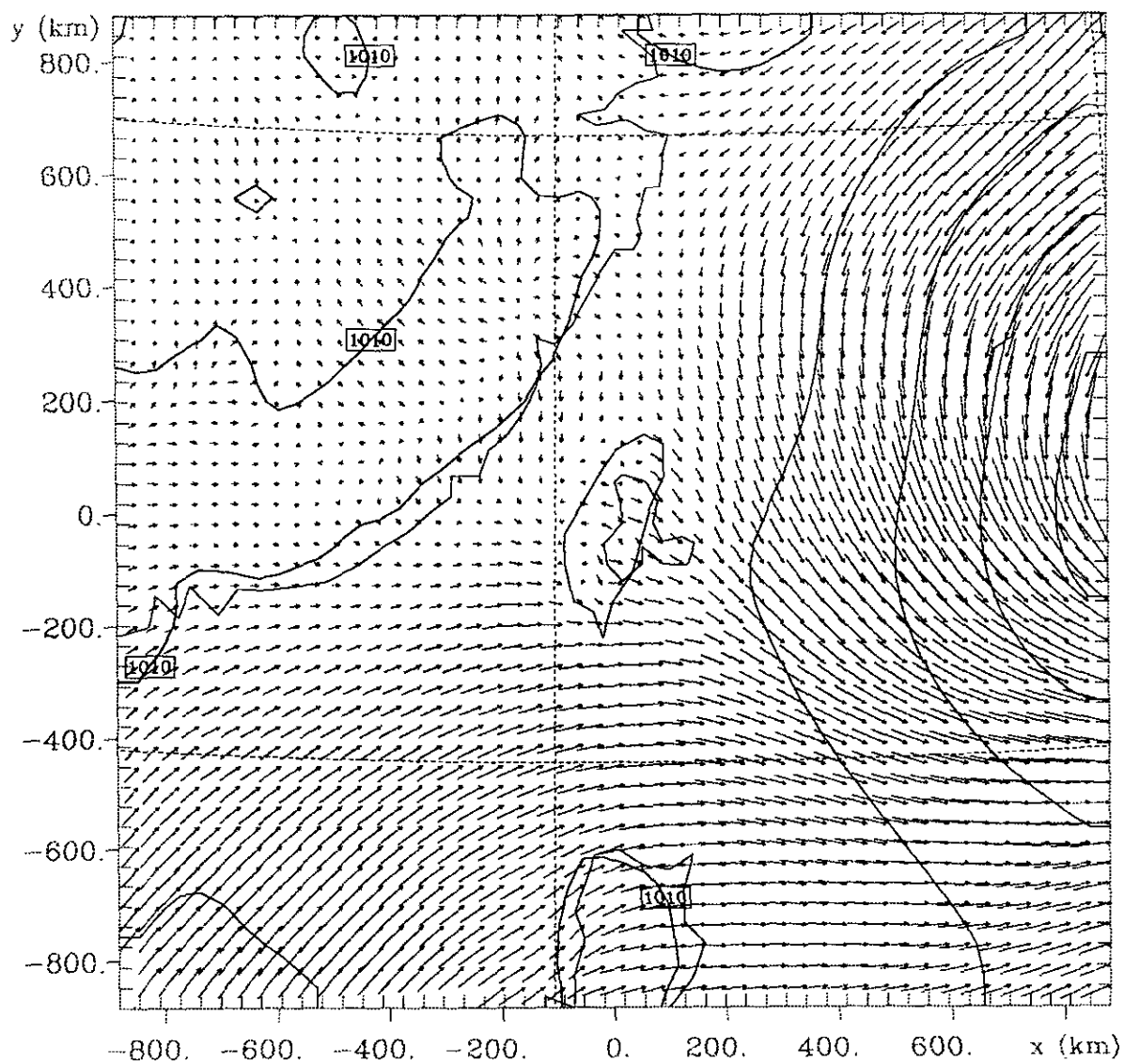
contours	sea level pressure (mb)	1006.	1010.	2.000	1e 0
vectors	—	5.0 m/s horiz	5.00 m/s vert		

圖 4.9 1996 年 8 月 8 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分佈圖



contours	sea level pressure (mb)	1004.	1010.	2.000	1e 0
vectors	→	5.0 m/s horiz	5.00 m/s vert		

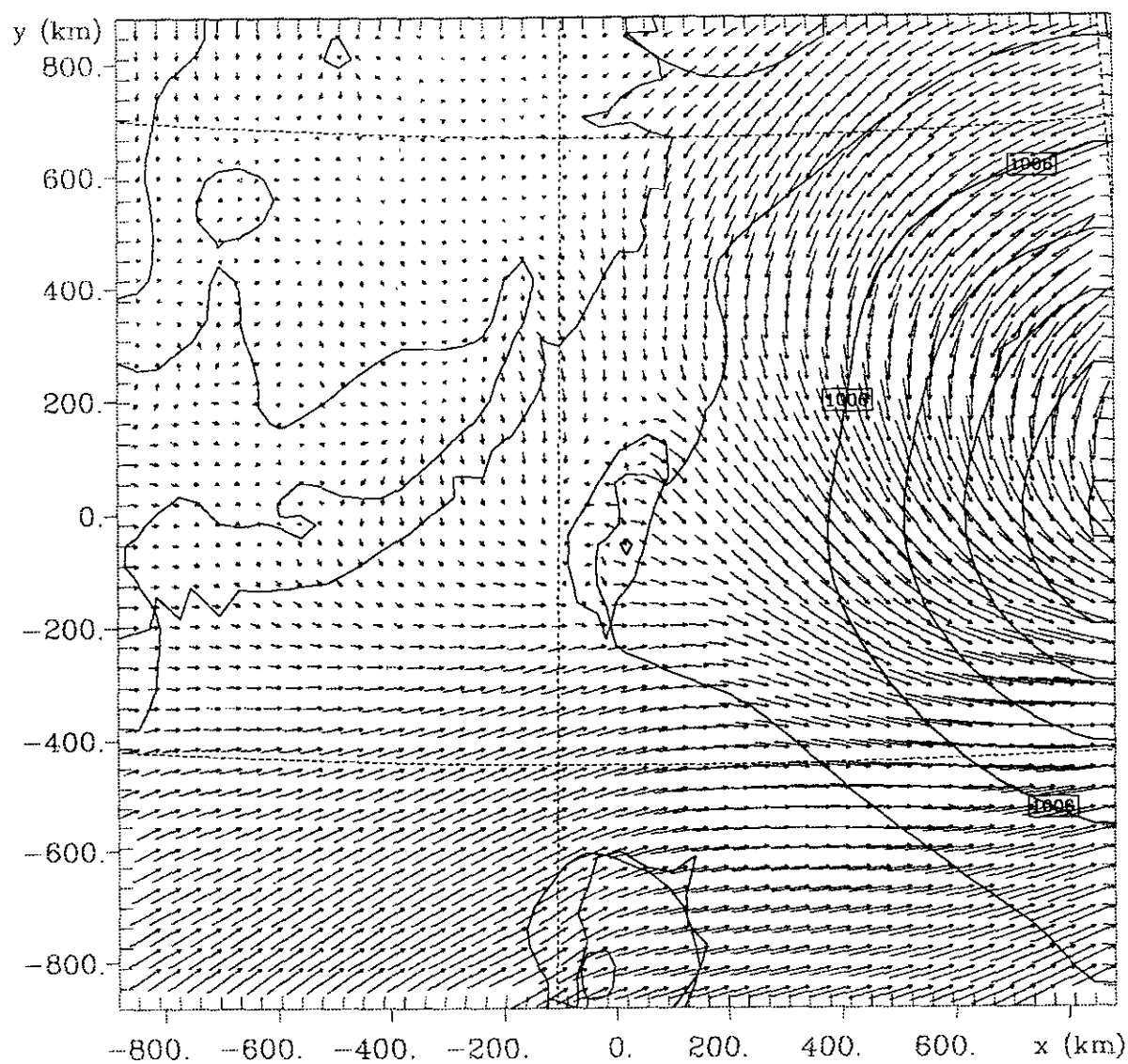
圖 4.10 1996 年 8 月 9 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分佈圖



contours	sea level pressure (mb)	1002.	1010.	2.000	1e 0
vectors	→	5.0 m/s horiz	5.00 m/s vert		

圖 4.11 1996 年 8 月 10 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分佈圖





contours	sea level pressure (mb)	998.0	1012.	2.000	1e 0
vectors	→ 5.0 m/s horiz 5.00 m/s vert				

圖 4.12 1996 年 8 月 11 日 00Z 模式計算所得海平面氣壓及地面風場分佈圖

圖 4.13 至 4.16 為每隔六小時一次，第二網格(包含台灣全島)之最下層風場，其高度約為 38.2 米。模擬由 8 月 7 日 00Z 開始，由圖 4.13 可以看出當時盛行風向為西南風，因為初始風場只是利用全球分析場和觀測資料所建立之分析場，所以有一些物理機制沒法考慮，整個風場看起來較為簡單，一些局部的現象並沒有顯現出來。

開始模擬後，受到中央山脈的影響，氣流產生分離，在北部地區風速相對較弱，由模擬的結果也可以看出海陸風及山谷風所產生的局部環流對風場有很重要的影響，在午後(06Z)受到海風的影響，在北部及東部沿海地區有顯著的向岸風產生，因為與盛行風向相反，所以造成的環流特別顯著；相反地在西部沿海地區因為海風與盛行風向一致，所以就沒有環流產生。入夜以後(12Z)西部地區仍以西南風為主，因為山風及陸風的影響，所以南高屏地區地面風速顯著降低；恆春半島因為斷面較小，所以陸風、山風影響也小，風向以西風為主；而東部沿海，則往東的風速加強，吹向海邊；北部地區因位於分離氣流的渦穴區(cavity)，所以風速較弱，但風向為離岸。此種風場維持到深夜(18Z)，然後上午又開始此種循環。由圖上可以看出由 8 月 7 日至 8 月 11 日為止，此種天氣型態並沒有很大改變。

圖 4.17 至圖 4.20 則為第三層網格(北部地區)之最下層風場，其高度亦為 38.2m。由第二層網格的模擬結果可以看出因為氣流分離的作用，所以北部地區風速很小，因此受到海陸風及山谷風的影響就非常顯著。由圖上可以看出在 8 月 7 日午後(06Z)受到海風的影響，在沿海地區有顯著的海風產生，海風與西南氣流在大屯山腰產生輻合。入夜後產生山風和陸風，所以風向改變吹往海上。從 8 月 7 日至 11 日模式所求出的風場雖然風速略有不同，但其形態及日夜變化則頗一致，因為於下風坡的分離流區內，所以風速相當微弱。

# Surface Wind Field ( 1996220 )

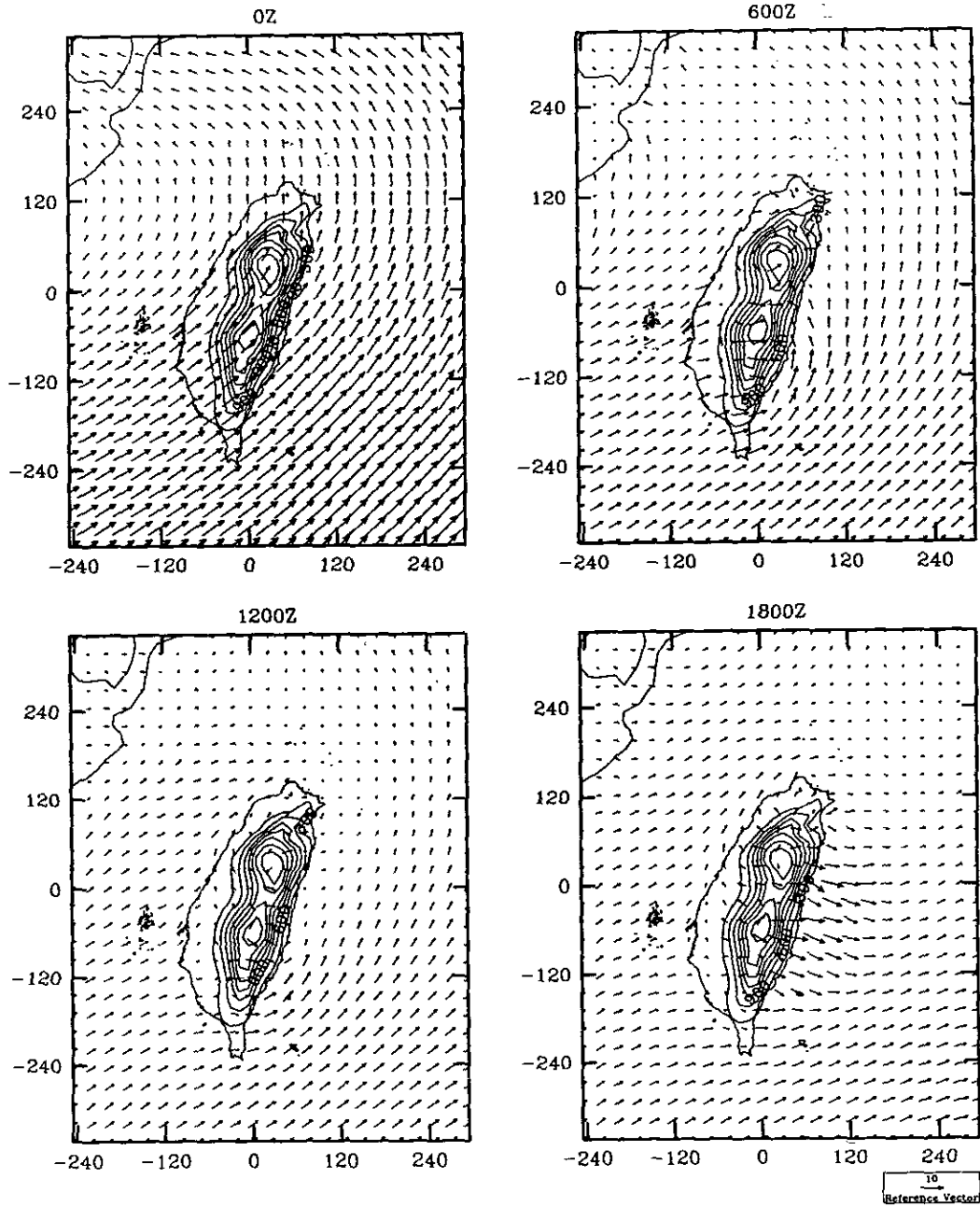


圖 4.13 1996 年 8 月 7 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996221 )

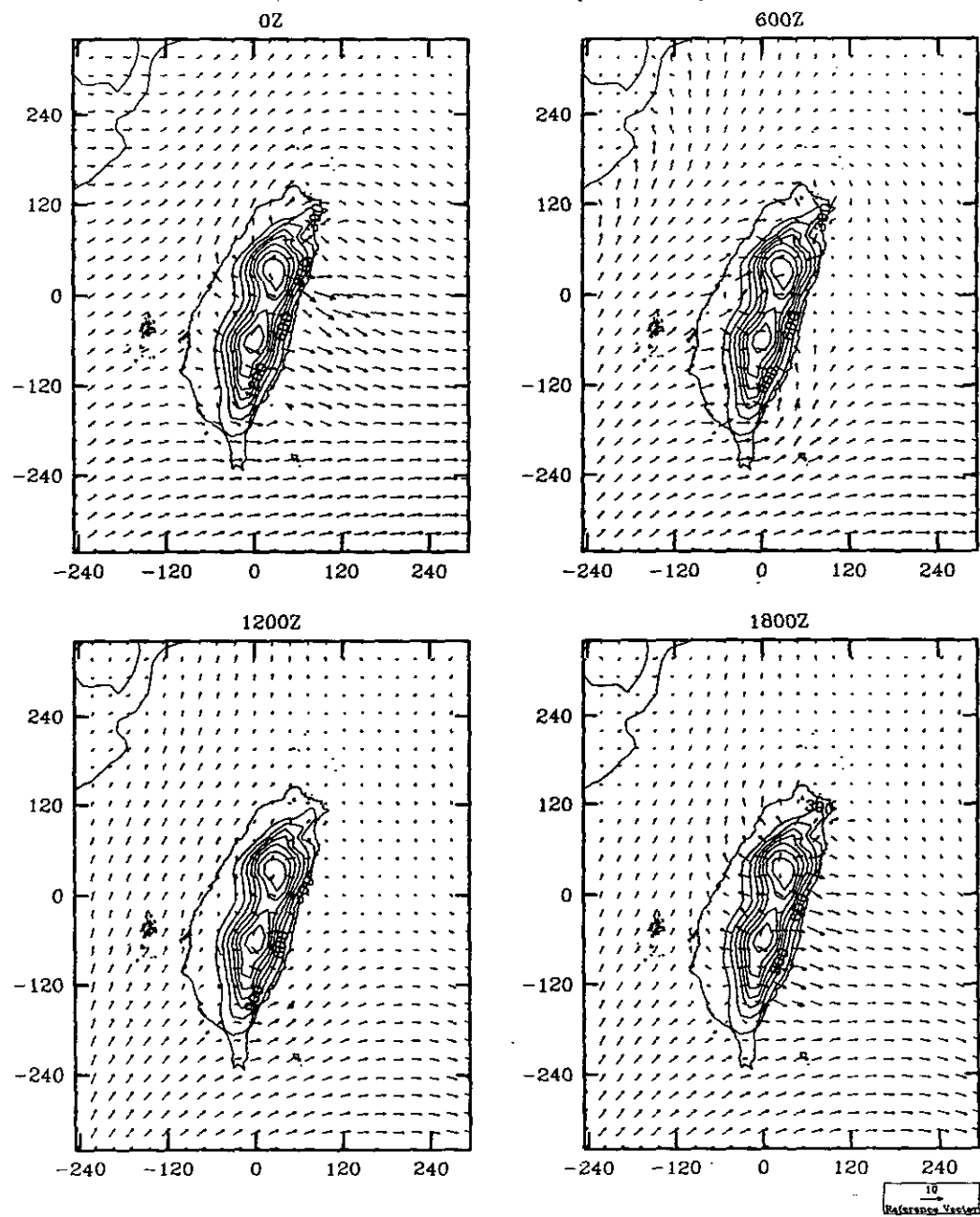


圖 4.14 1996 年 8 月 8 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996222 )

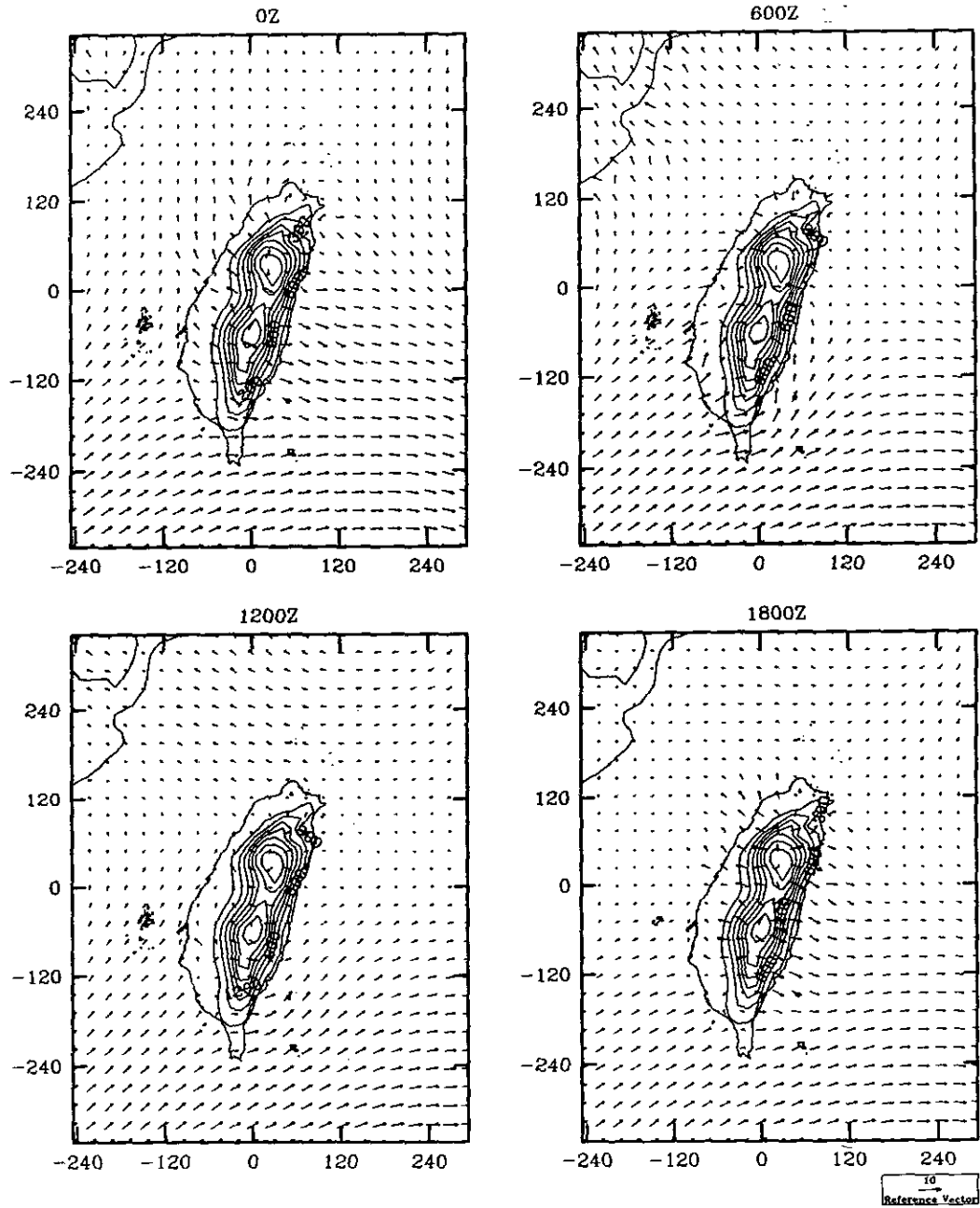


圖 1 1 年 月 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996223 )

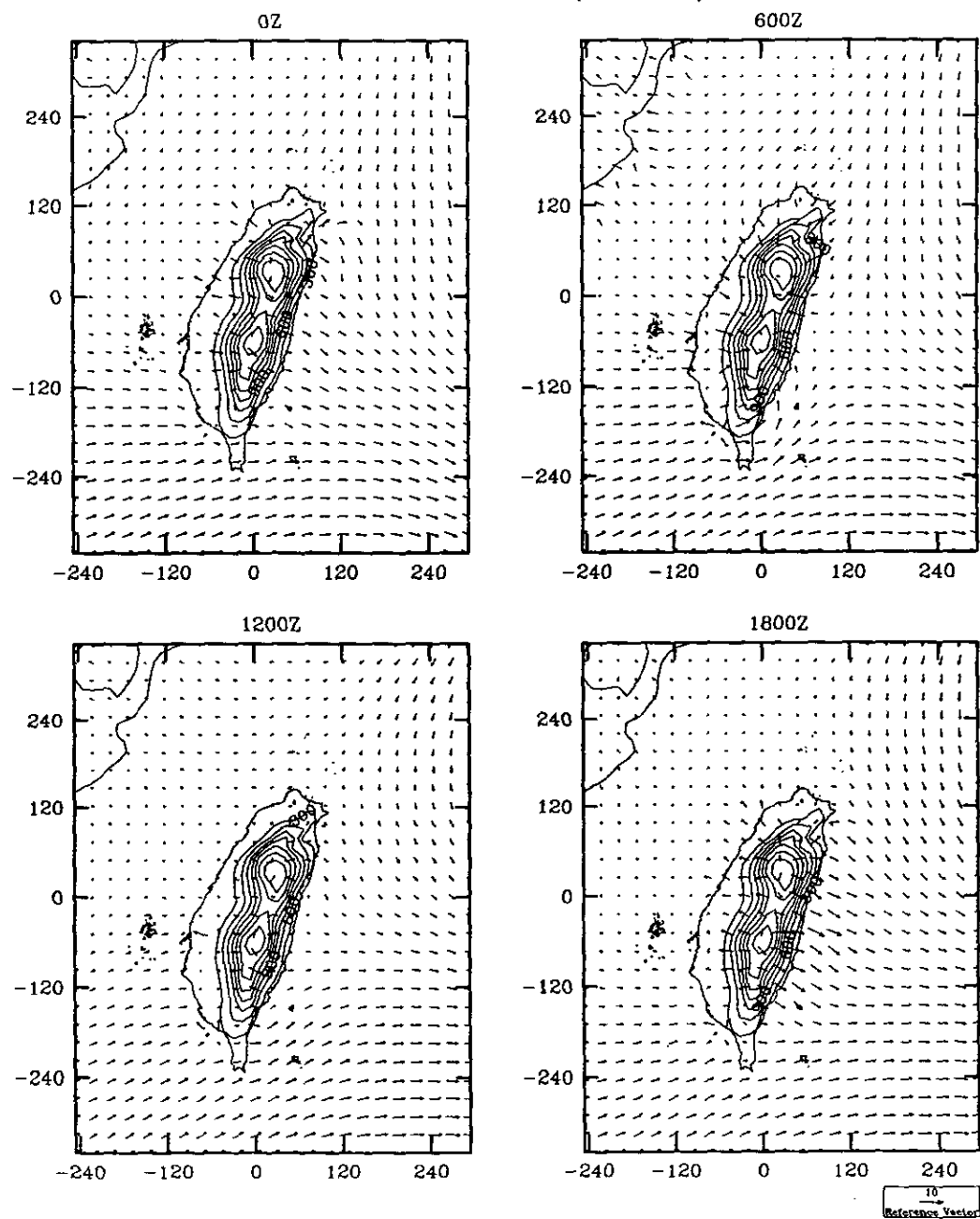


圖 4.16 1996 年 8 月 10 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

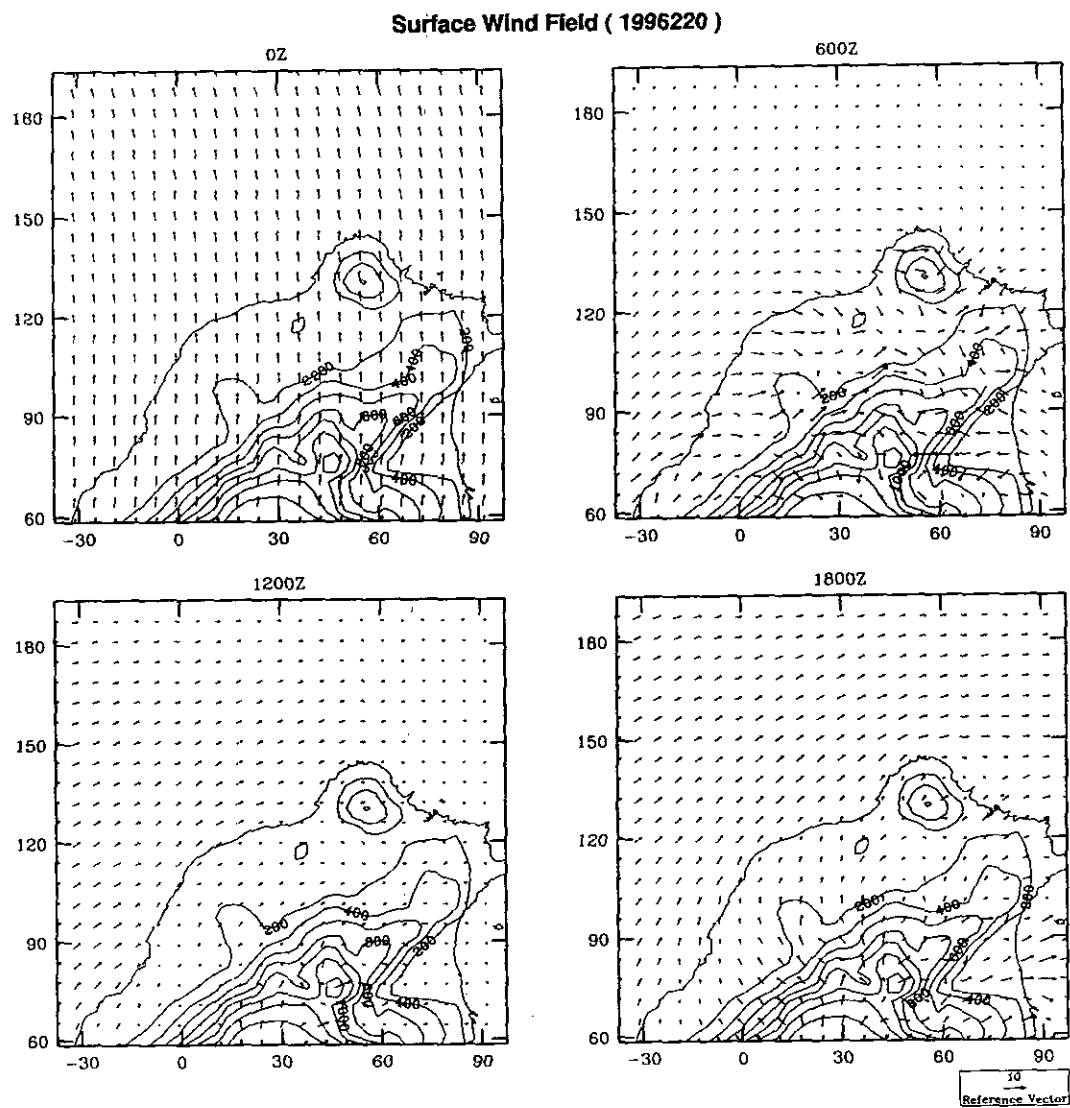


圖 4.17 1996 年 8 月 7 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

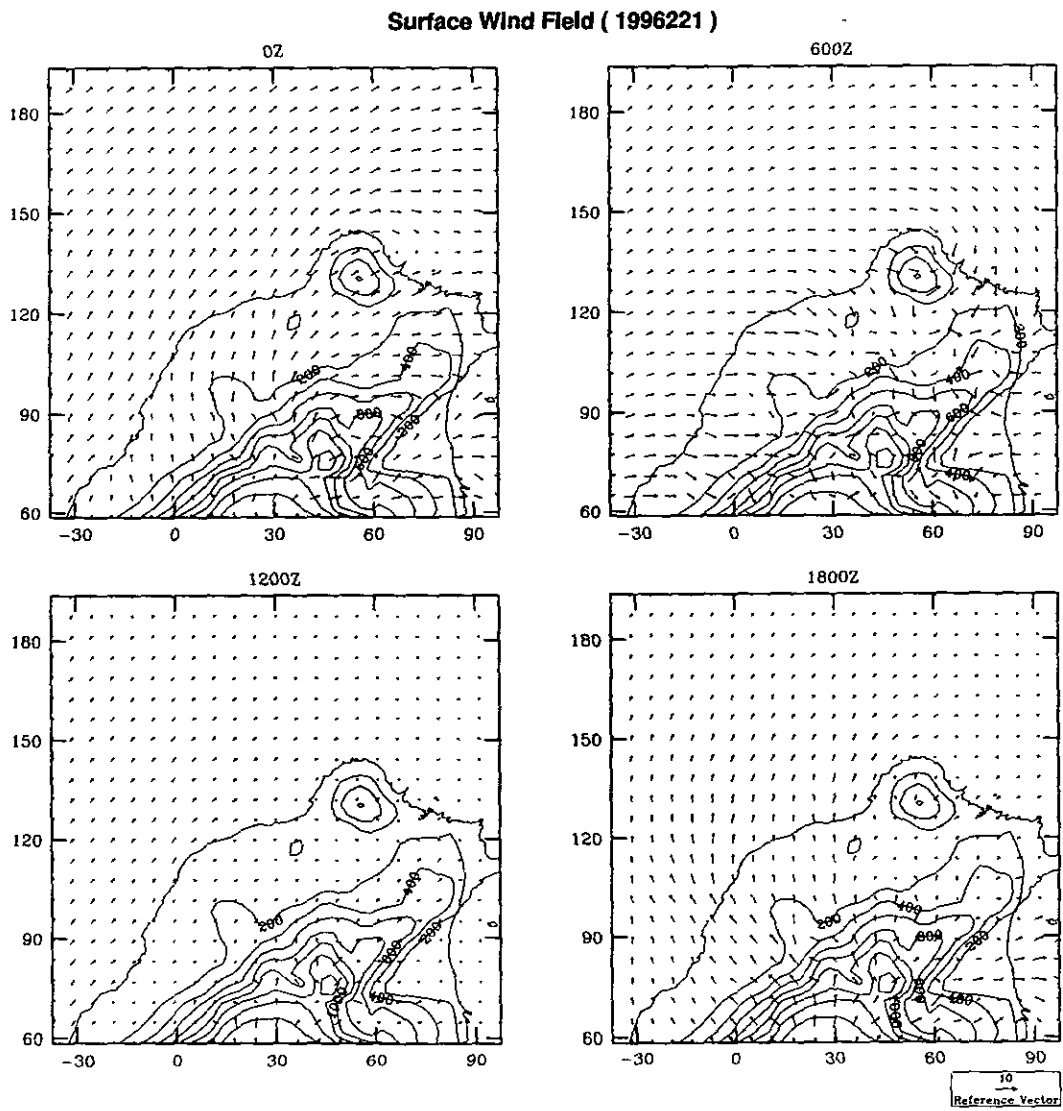


圖 4.18 1996 年 8 月 8 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場



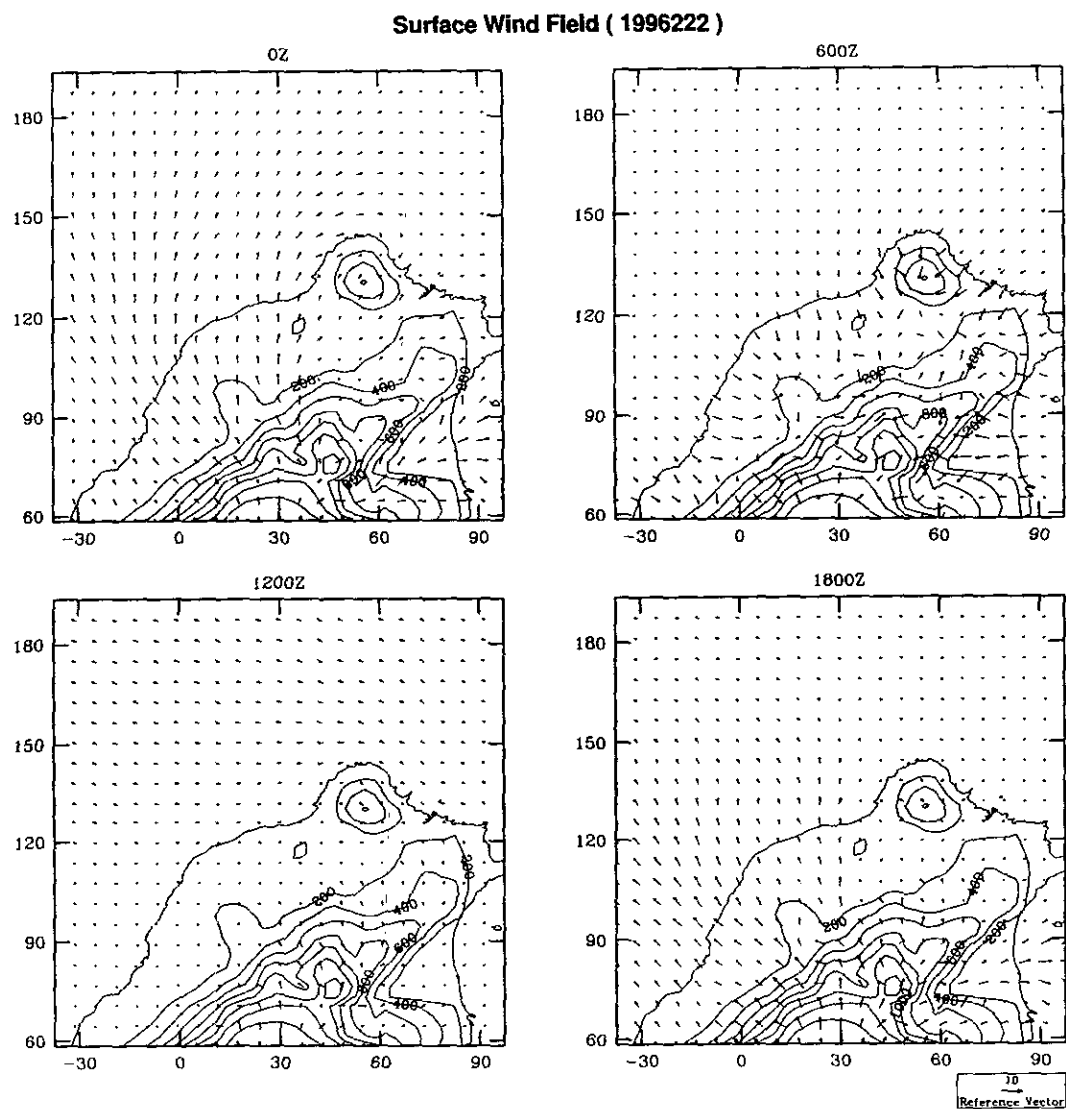


圖 4.19 1996 年 8 月 9 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

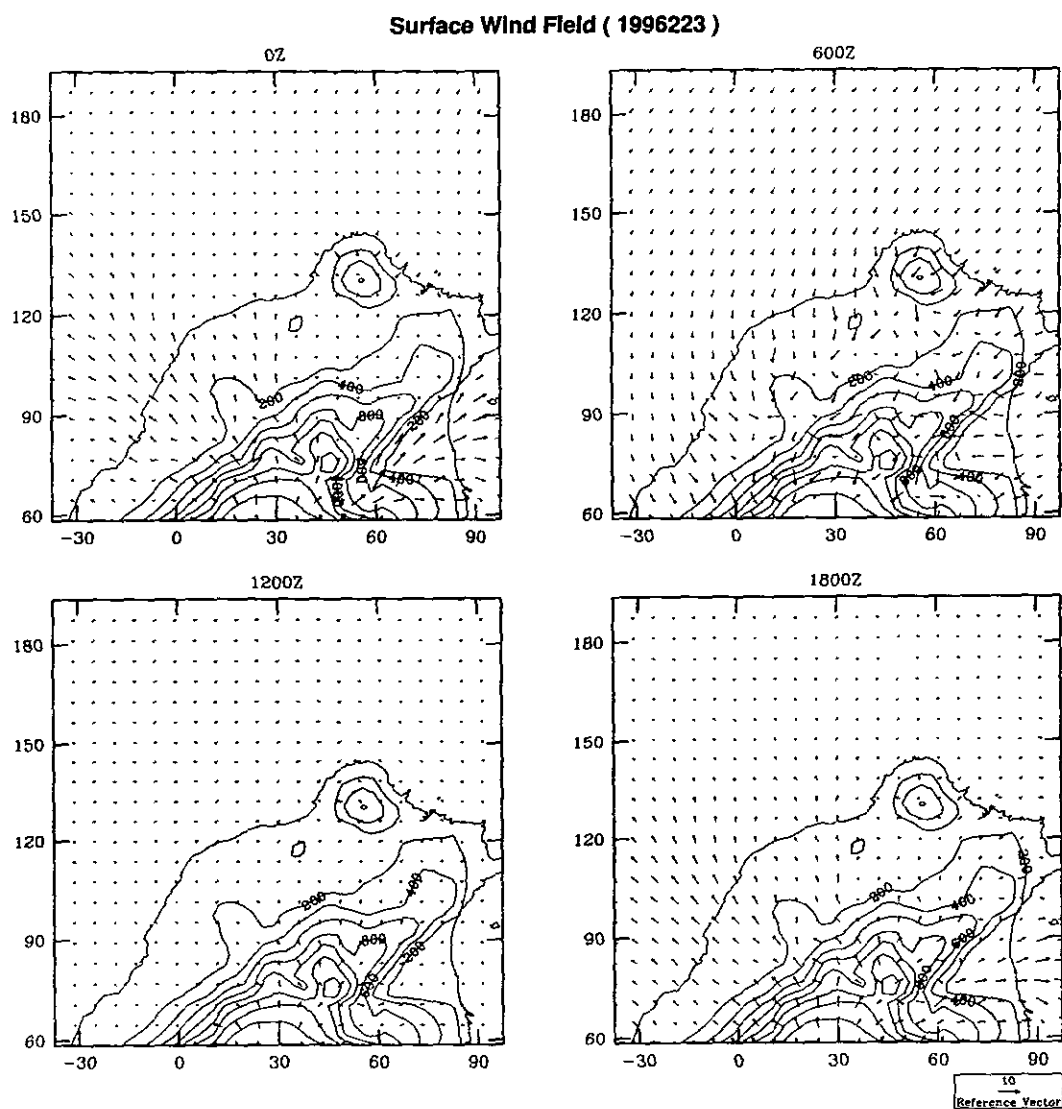


圖 4.20 1996 年 8 月 10 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

綜合以上的分析，我們可以看出 RAMS 的模擬結果非常合理，我們進一步將模擬結果和實測資料進行量化的比較，也發現模式之計算值與觀測值相當吻合。

圖 4.21 為 1996 年 8 月 7 日至 10 日案例一模擬期間鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹和宜蘭氣象局地面測站所測出之地面大氣溫度和模式模擬底層的大氣溫度的比較，雖然兩者高度並不相同，但我們並沒有對計算值作調整。由圖上可以看出，模式不但可以準確地掌握日夜溫差的變化，而且最高和最低溫度都計算的相當準確；除鞍部、竹子湖模擬結果較不理想外，其餘各站計算值和觀測值平均誤差都小於一度。

圖 4.22 為案例一模擬期間地面比濕和模式模擬底層比濕的比較，除鞍部、竹子湖和宜蘭模擬結果略差外，其餘各站計算值和觀測值都很接近。如果將比濕預測結果和溫度預測互結果相驗證，可以知道造成此誤差的原因可能與土壤含水量的初始值的假設有關係，土壤含水量對中尺度氣象模式的計算結果影響很大，但其初始值不容易決定。

圖 4.23 為案例一模擬期間地面觀測風速和模式模擬底層風速的比較，模式計算值呈現日夜周期性的變化，然而觀測資料的變化則較為雜亂，兩者之平均風速相差不大，但相關係數也很小。

圖 4.24 則為地面觀測風向和模式模擬底層風向的比較，如同風速一樣，模式計算值呈現日夜周期性的變化，而觀測資料的變化則較為雜亂，總體而言，兩者之風向雖有不同，但差異並不大。

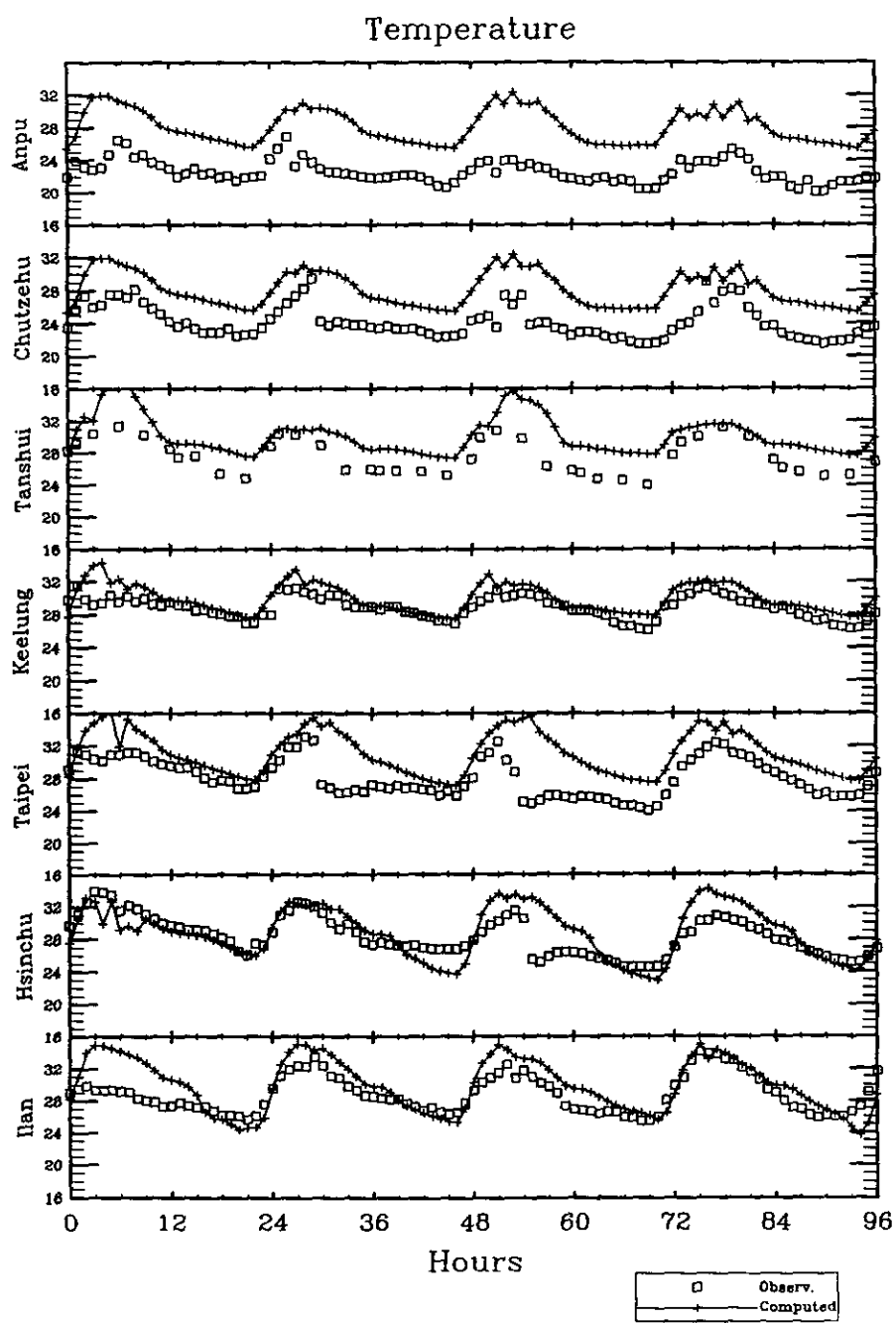


圖 4.21 北部地區案例一模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較

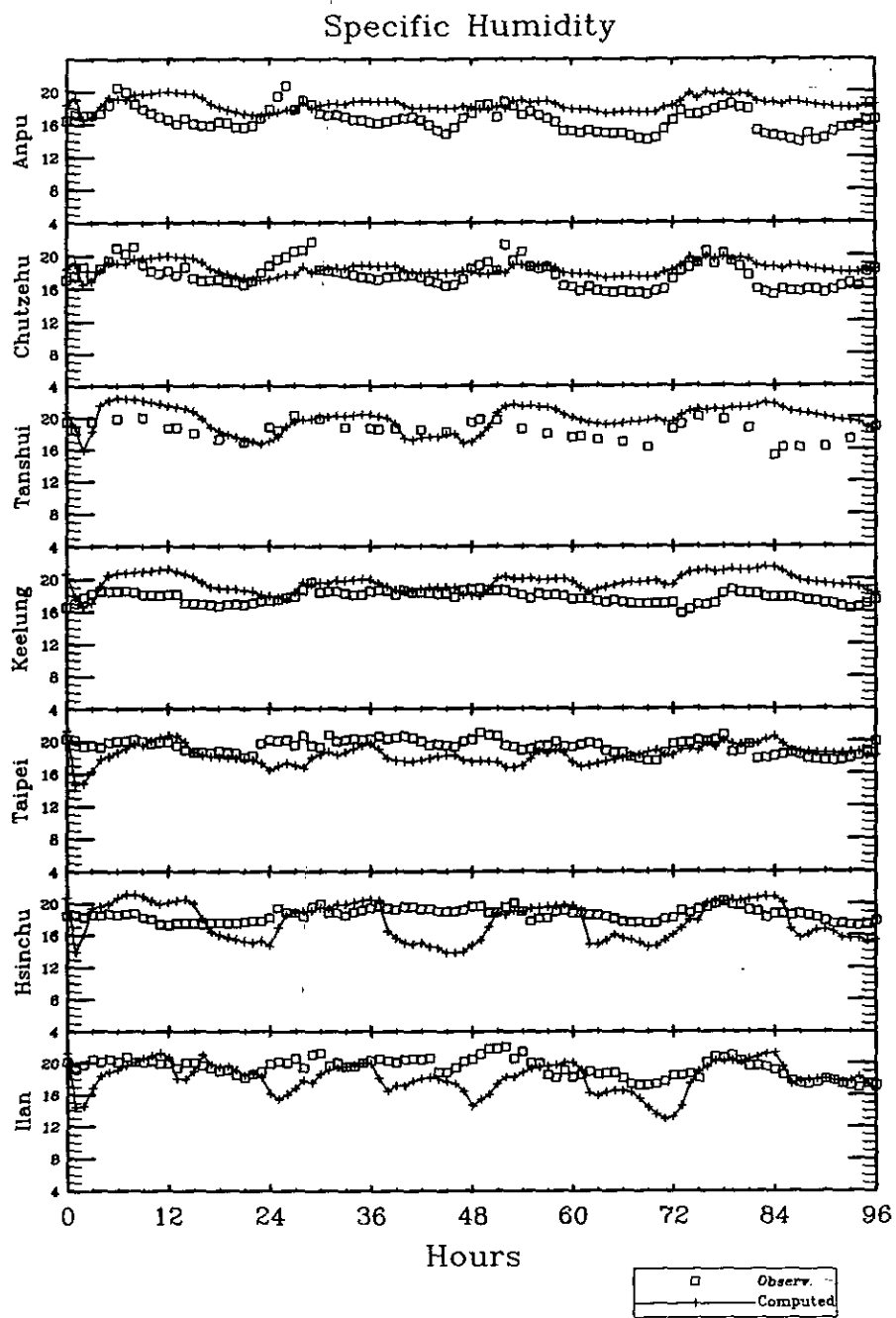


圖 4.22 北部地區案例一模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較

# Wind Speed

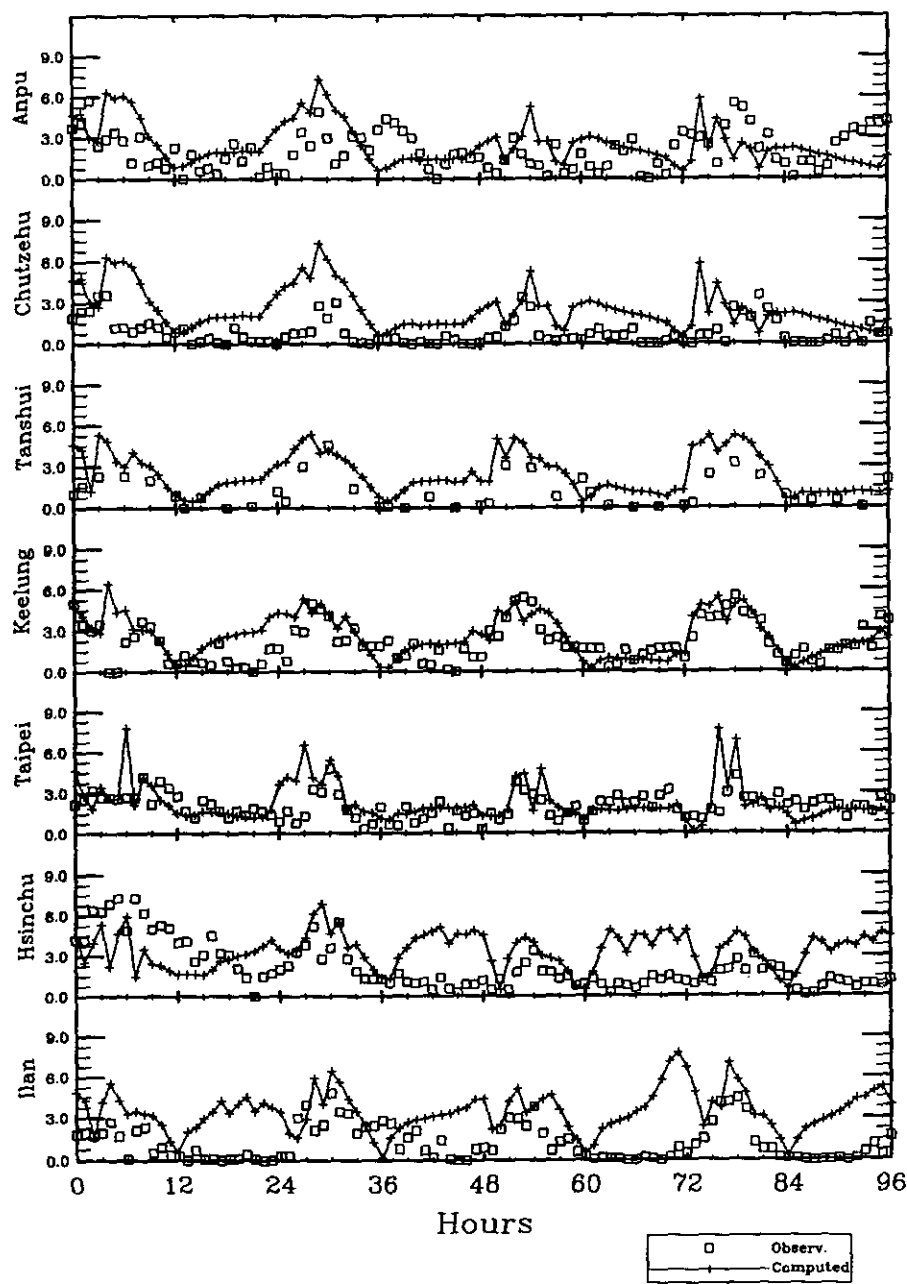


圖 4.23 北部地區案例一模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較

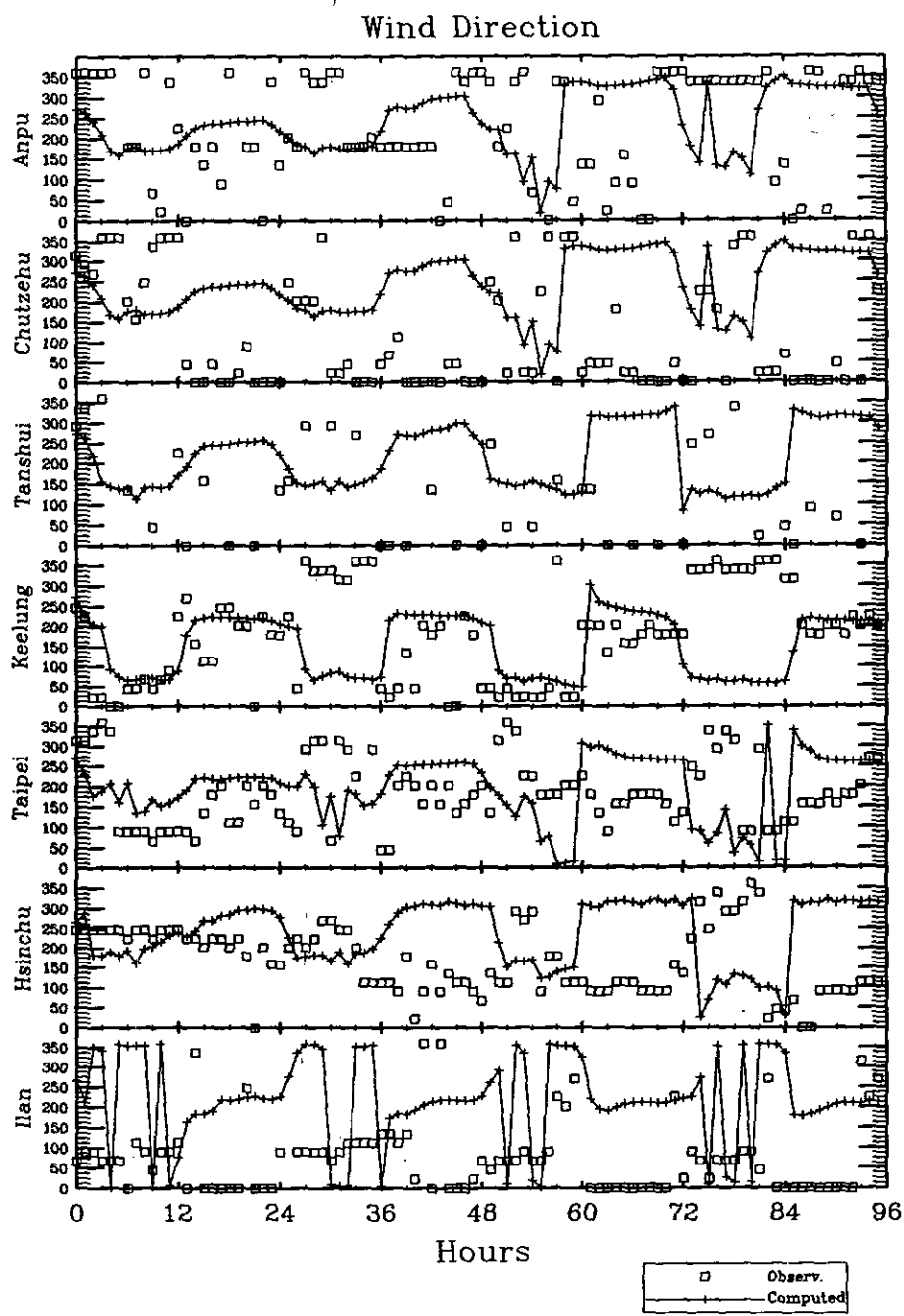


圖 4.24 北部地區案例一模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較

#### 4.4.2 北部地區第二個案例

1996 年 10 月 27 日至 11 月 2 日是一個非常特殊的天氣型態，在台灣由南到北均產生高臭氧濃度(見第三章討論)，因此選為第二個案例。在本節中我們針對這幾天的天氣利用 RAMS 進行模擬，希望能對臭氧事件的產生提出一些合理的解釋。

圖 4.25 至圖 4.30 為 10 月 27 日至 11 月 1 日的地面天氣圖。在 10 月 27 日 00Z 高氣壓 1028 百帕位於(36N, 127E)，即韓國附近，向東移動，受此高壓氣團影響台灣地區大都吹東北風。為多雲到晴的天氣。10 月 28 日此高壓氣團移到日本東方海面，其中心位於(38N, 152E)，高壓脊線往東南延伸，台灣地區受此影響東北季風逐漸減弱，且風向改為偏東風。10 月 29 日高氣壓 1022 百帕位於日本四國向東移動，台灣地區仍為多雲到晴的天氣。10 月 30 日高氣壓 1024 百帕位於日本東方海面，向東移動，台灣地區壓力梯度相當微弱，地面吹弱東風。10 月 31 日大陸性冷高氣壓 1039 百帕位於(45N, 119E)，向東南東移動，滯留鋒面起自東海，向西南延伸至四川省，台灣仍是多雲到晴的天氣。11 月 1 日高氣壓 1030 百帕位於(44N, 109E)，即在蒙古向東移動，低氣壓 1008 百帕，位於(44N, 109E)，即日本本州向東移動，鋒面由此中心向西南延伸至廣西，台灣北部海面改吹東南風，11 月 2 日此一鋒面逐漸接近並影響台灣地區，東北季風轉強。由 10 月 27 日至 11 月 1 日，台灣地區大多天氣晴朗，風速較弱，因此容易產生空氣污染問題。

圖 4.31 至 4.34 為每隔六小時一次，第二網格(包含台灣全島)之最下層風場，其高度約為 38.2 米。模擬由 10 月 27 日 00Z 開始，這個小時的風場為利用觀測資料所建立之分析場，所以較為粗糙。

開始模擬後，在 10 月 28 日 12Z 之前，台灣附近海域大都吹東北風，陸地部份受到中央山脈的影響，產生氣流分離的現象，地形對東部地區的風場影響很大，在白天大都為東風，到了晚上受到陸風及山風的影響改為西風，西部陸地受到背風坡渦穴區氣流的影響，部份地區水平風速較弱，同時風向也略為改變，成為與海岸平行並往南的方向。



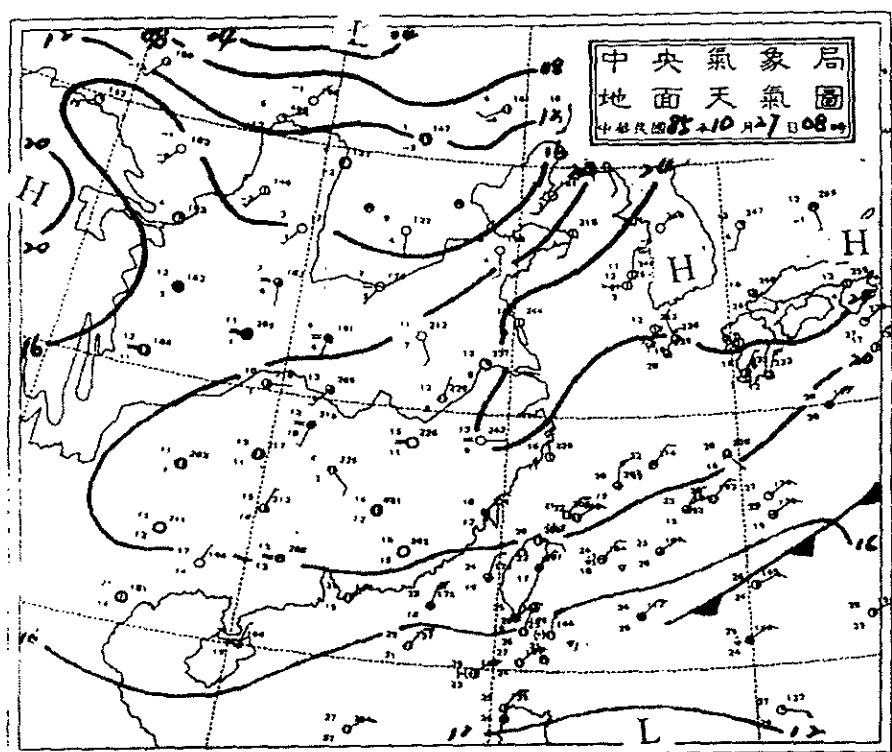


圖 4.25 1996 年 10 月 27 日 00Z 綜觀天氣圖

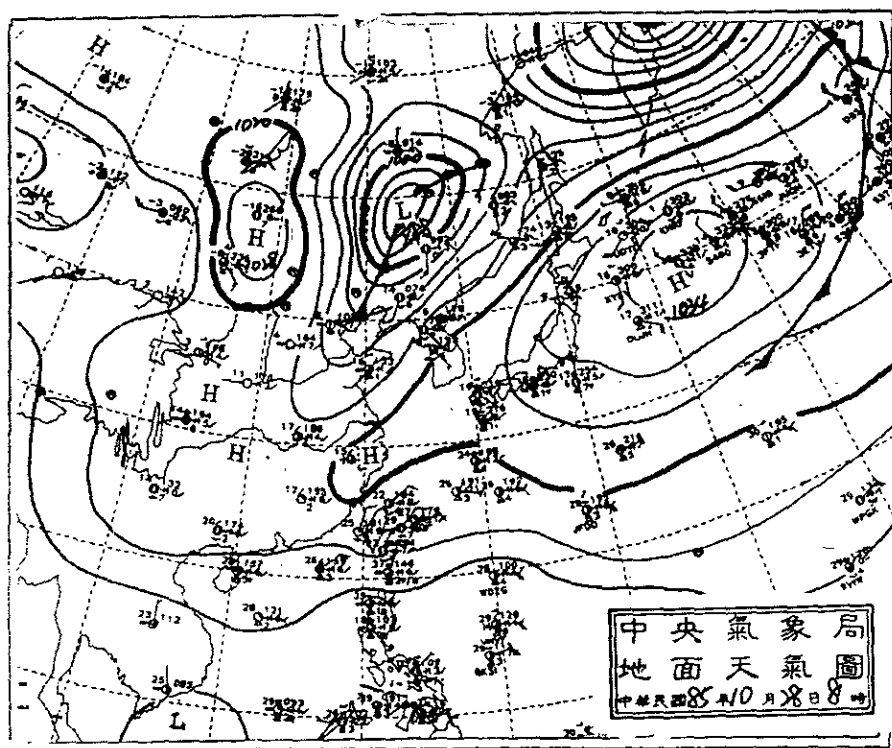


圖 4.26 1996 年 10 月 28 日 00Z 綜觀天氣圖

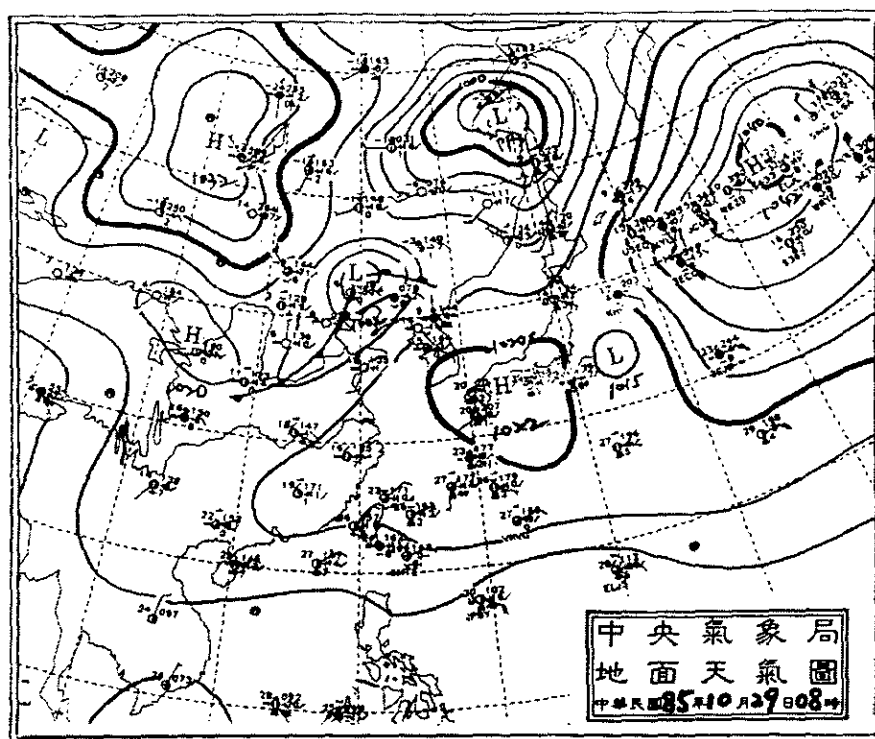


圖 4.27 1996 年 10 月 29 日 00Z 綜觀天氣圖

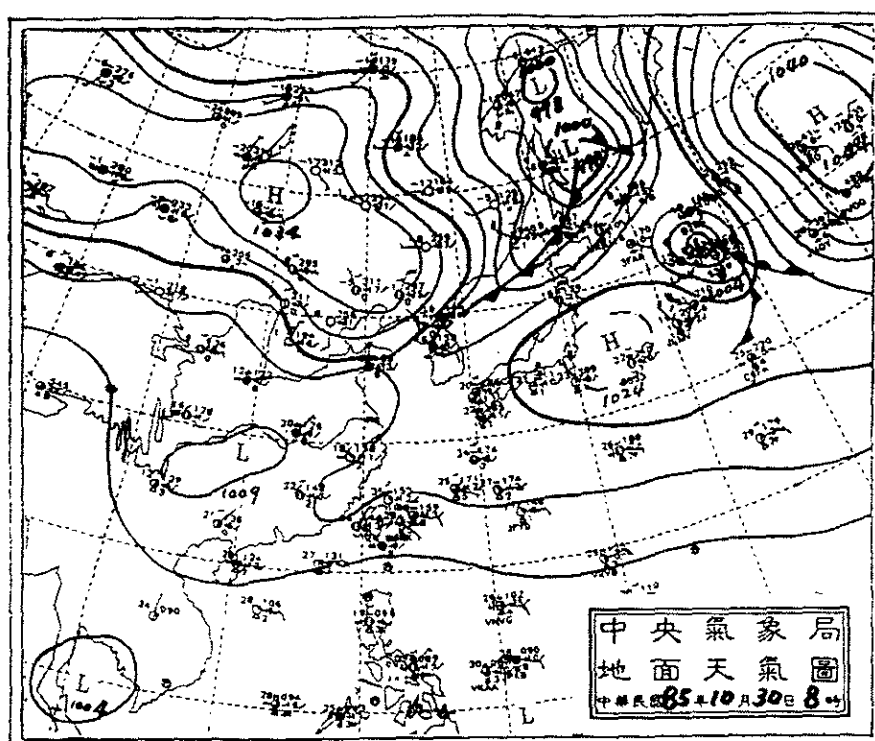


圖 4.28 1996 年 10 月 30 日 00Z 綜觀天氣圖

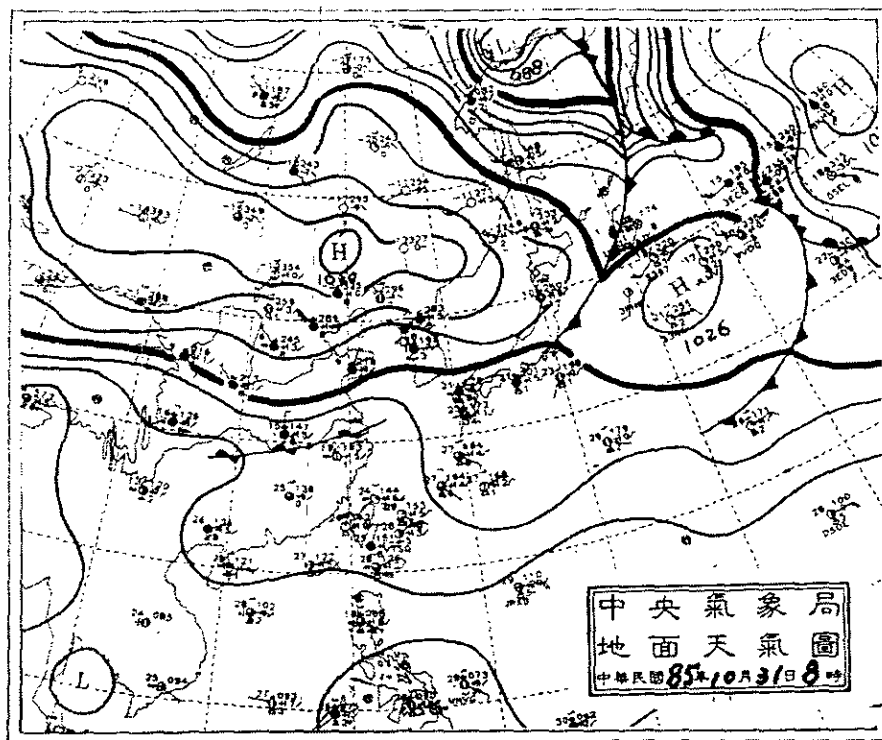


圖 4.29 1996 年 10 月 31 日 00Z 綜觀天氣圖

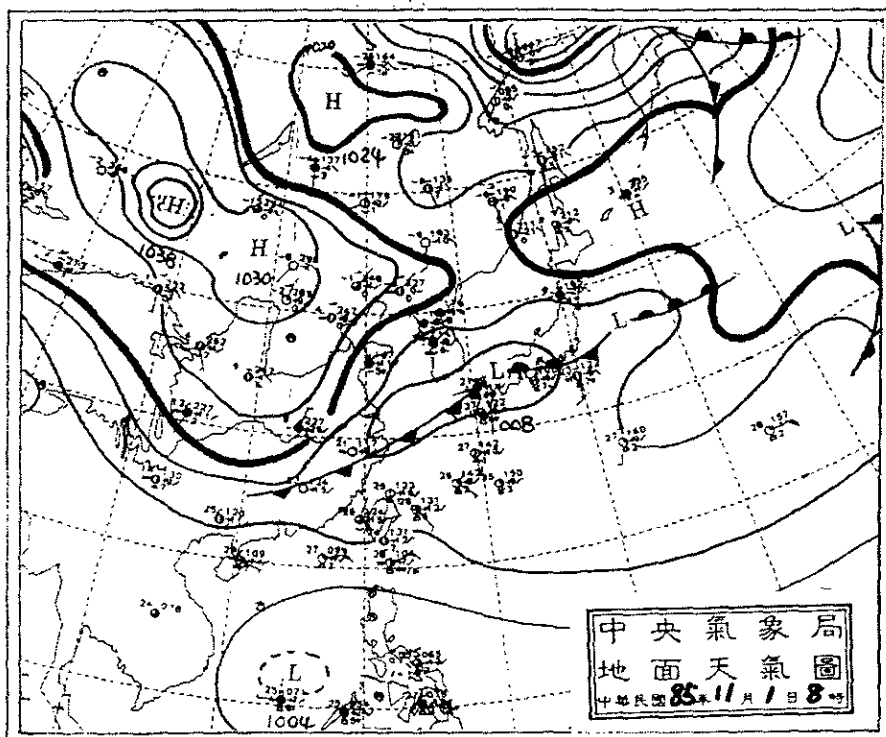


圖 4.30 1996 年 11 月 1 日 00Z 綜觀天氣圖

# Surface Wind Field ( 1996301 )

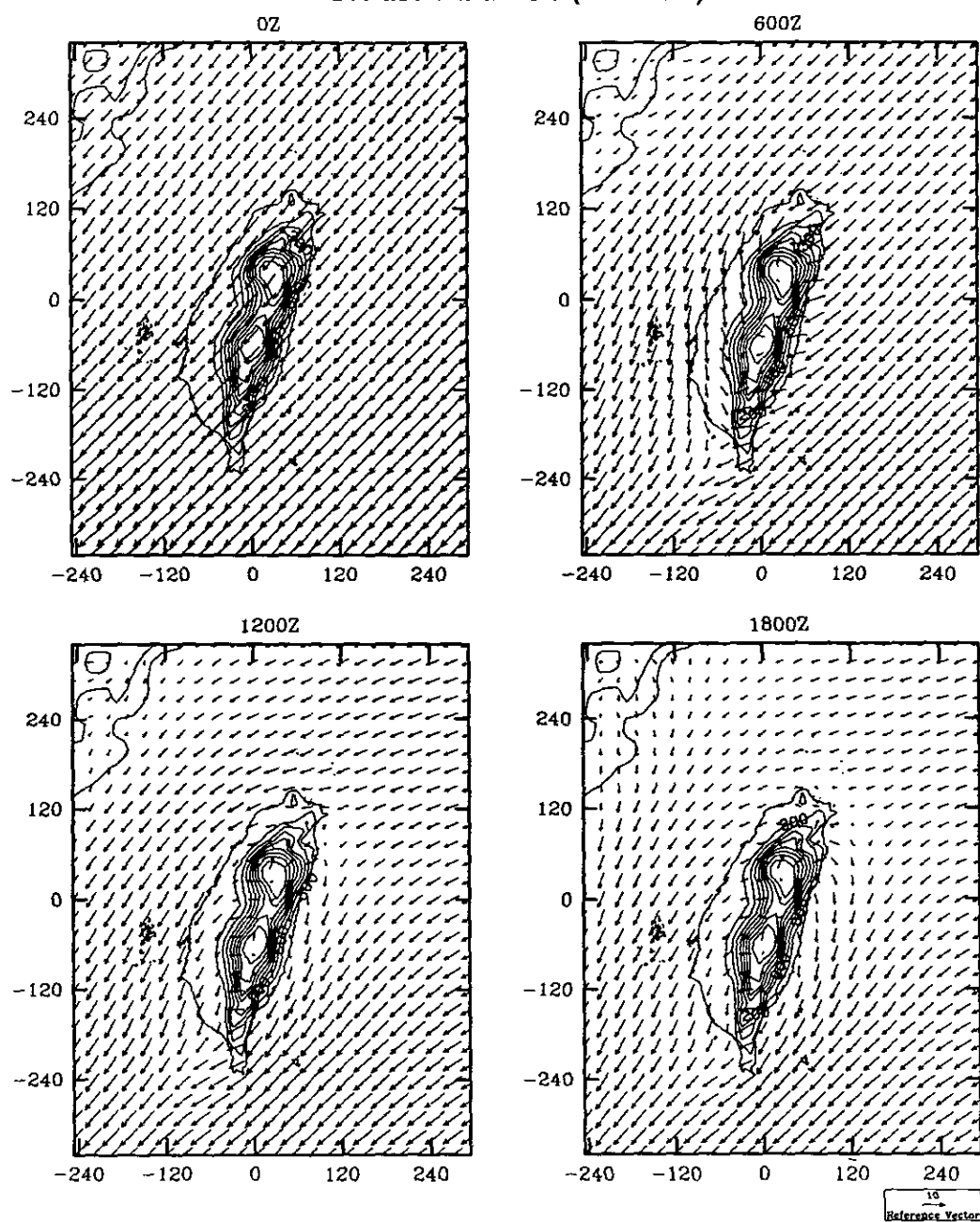


圖 4.31 1996 年 10 月 27 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996302 )

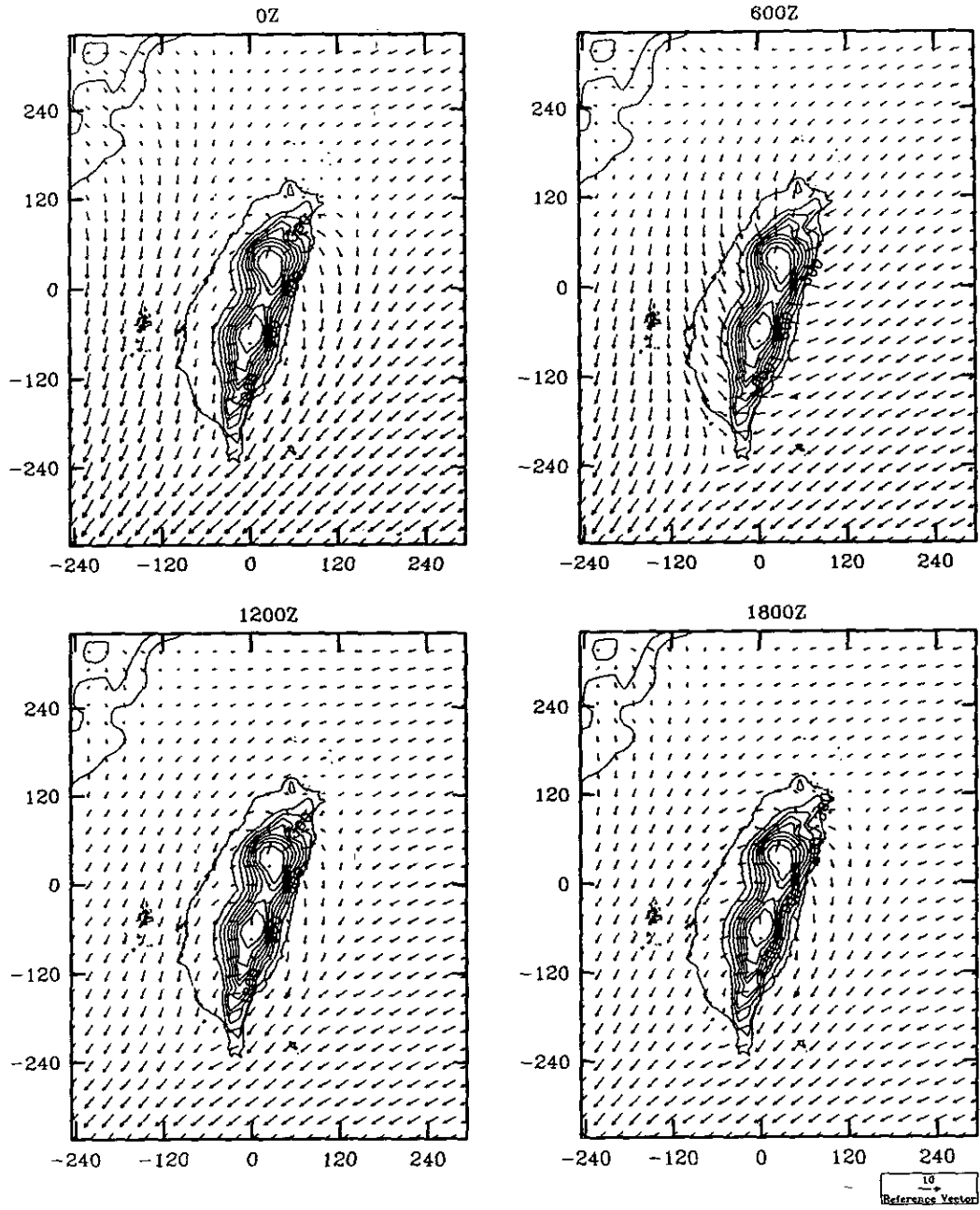


圖 4.32 1996 年 10 月 28 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996303 )

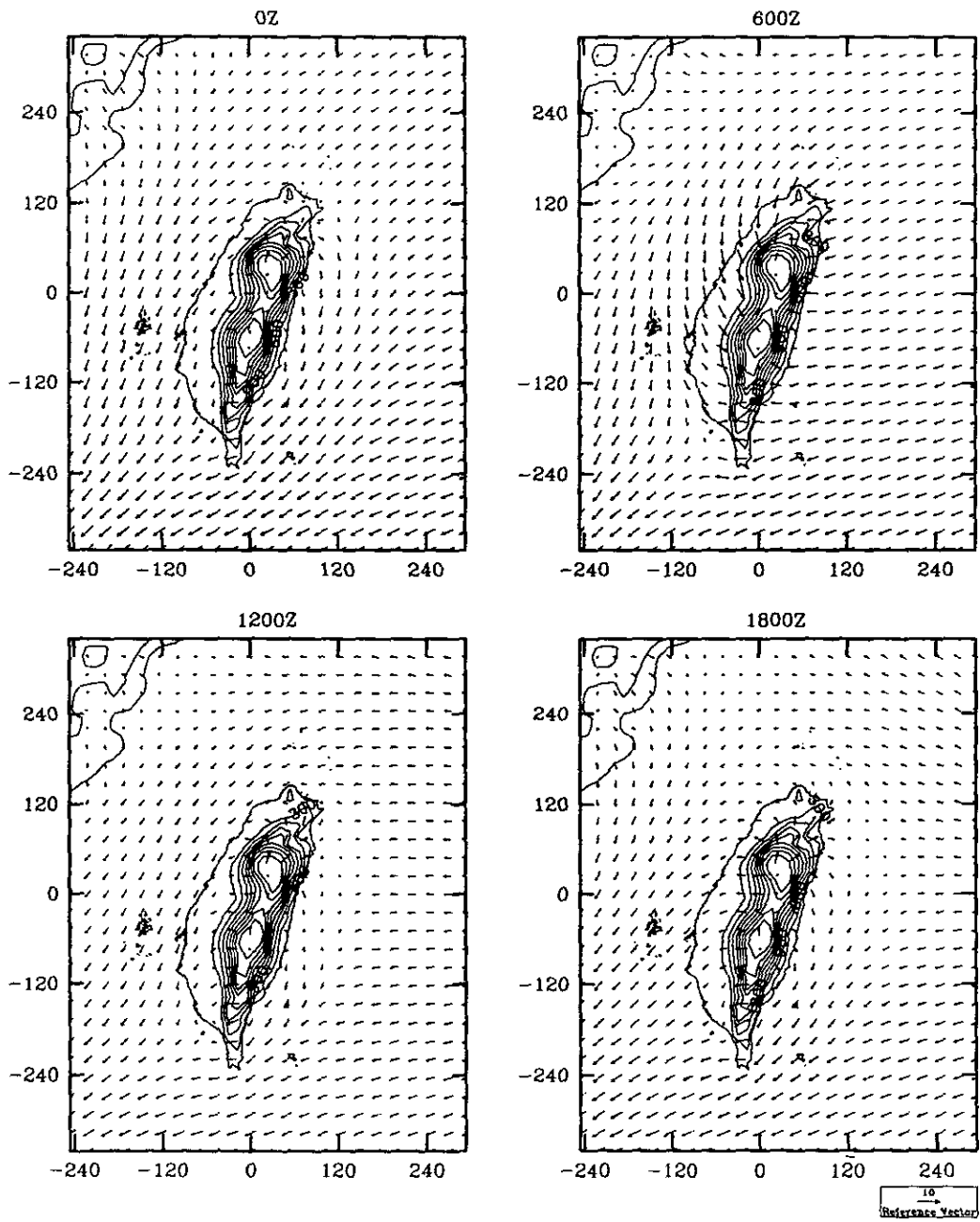


圖 4.33 1996 年 10 月 29 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996304 )

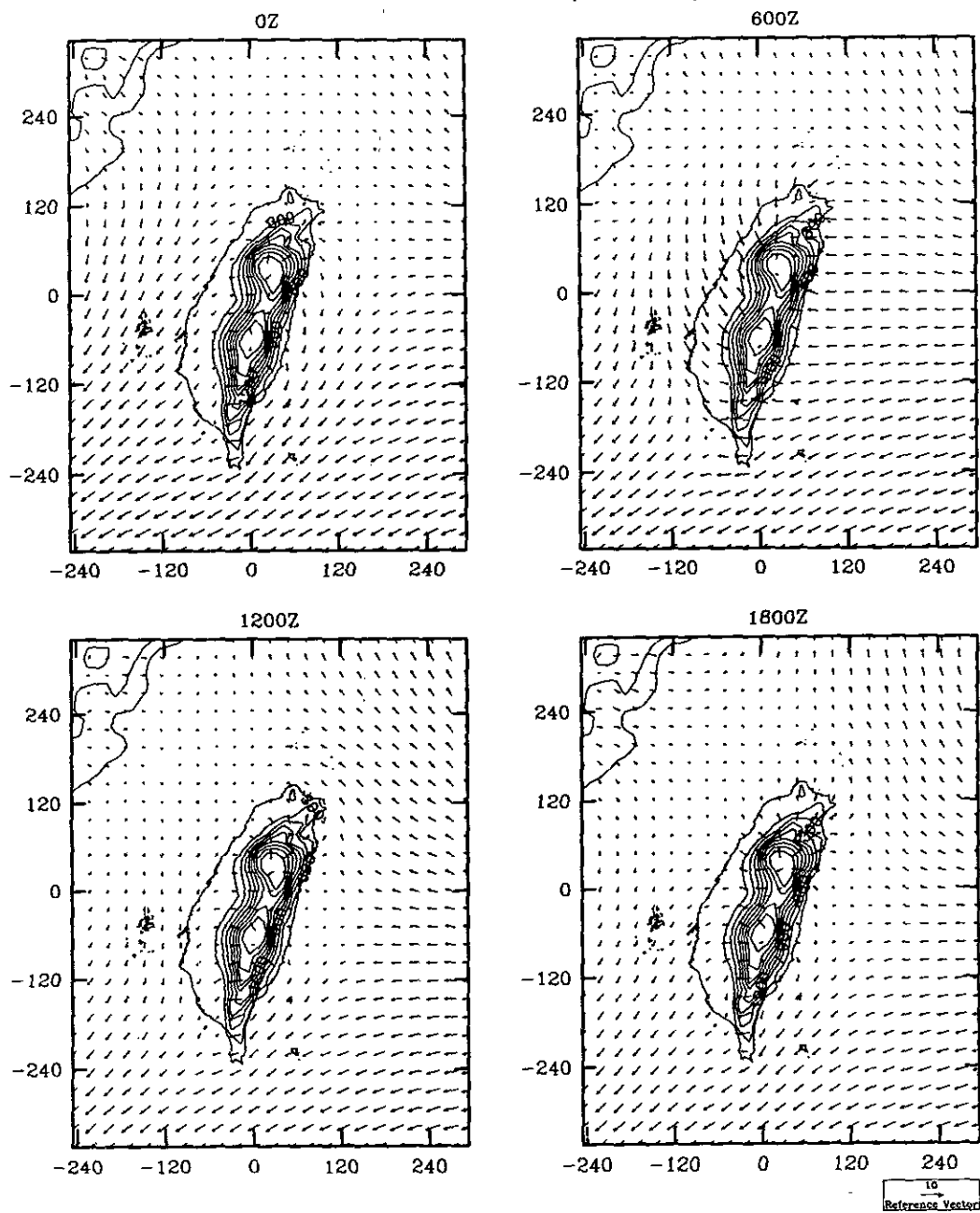


圖 4.34 1996 年 10 月 30 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

隨著綜觀天氣的變化，所模擬的地面風場也跟著改變。10月28日12Z以後，模式求出台灣東部海面及巴士海峽吹東風，而台灣海峽則為東北風，此與實際狀況吻合。

在北部地區，風向每日逐漸改變，10月28日為東北風，29日逐漸轉為東風，到了30日更轉為東南風和南風，與綜觀尺度的變化相同。至於風速在29日之前較大，但吹東南風後風速就變小，所以在後來產生高污染事件。

在南高屏地區海面上的風向為東北風，在內陸的山邊則為強烈的東風，靠近海邊的陸地則為南風。由於在山頂上風向幾乎與中央山脈垂直，且山坡很陡，因此山脈後方產生的渦穴區特別明顯，在南高屏地區下午海風盛行時，靠近海邊的地區，風速較低。

圖4.35至圖4.38則為第三層網格(北部地區)之最下層風場，其高度亦為38m。如前所述，在模擬期間北部的風向由東北風，轉為東風，最後又變為南風，因此局部地區的風場也跟著改變。27日東北季風強烈，因此海面都為東北風，進入陸地之後，受到地形的影響而產生幅散。28日以後變為東風，且風速逐漸減低，因為天氣晴朗，海陸風所產生的影響非常顯著，日夜風向變化極大。30日以後主要為南風，在晚上因為陸風和山風與盛行風向一致，因此地面風速較大；在下午海風產生時，與盛行風向相反，所以整個網格內風速非常低。

圖4.39為1996年10月7日至10日北部地區案例二模擬期間鞍部、竹子湖、淡水、基隆、台北、新竹和宜蘭氣象局地面測站所測出之地面大氣溫度和模式模擬底層的大氣溫度的比較。由圖上可以看出，模式不但可以準確地掌握日夜溫差的變化，而且最高和最低溫度都計算的相當準確。

圖4.40為北部地區案例二模擬期間地面比濕和模式模擬底層比濕的比較，觀測所得之比濕呈現明顯的日夜變化，然而模式所求出之結果並無此一趨勢，可能因為模式計算值為37.5米高度，而觀測值則接近地面所致。

圖4.41為案例二模擬期間地面觀測風速和模式模擬底層風速的比較，模式可掌握27日至28日間風速由大變小的趨勢，在隨後的時間風速很小，模擬值與觀測值非常相近，此一案例中對風速、風向的模擬非常成功。

圖4.42則為地面觀測風向和模式模擬底層風向的比較，模式計算值與觀測資料雖有不同，但差異並不大，結果相當合理。



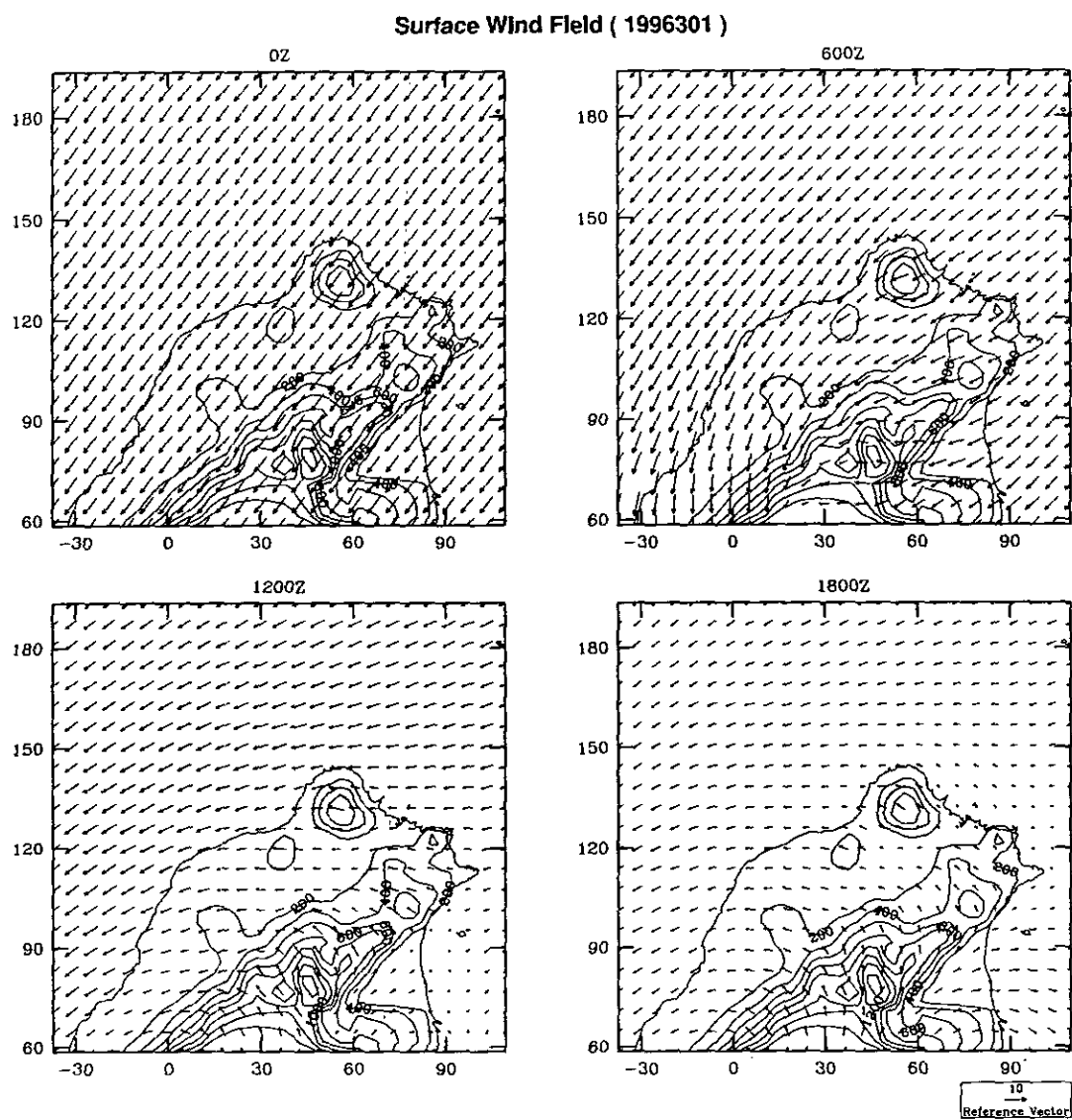


圖 4.35 1996 年 10 月 27 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場

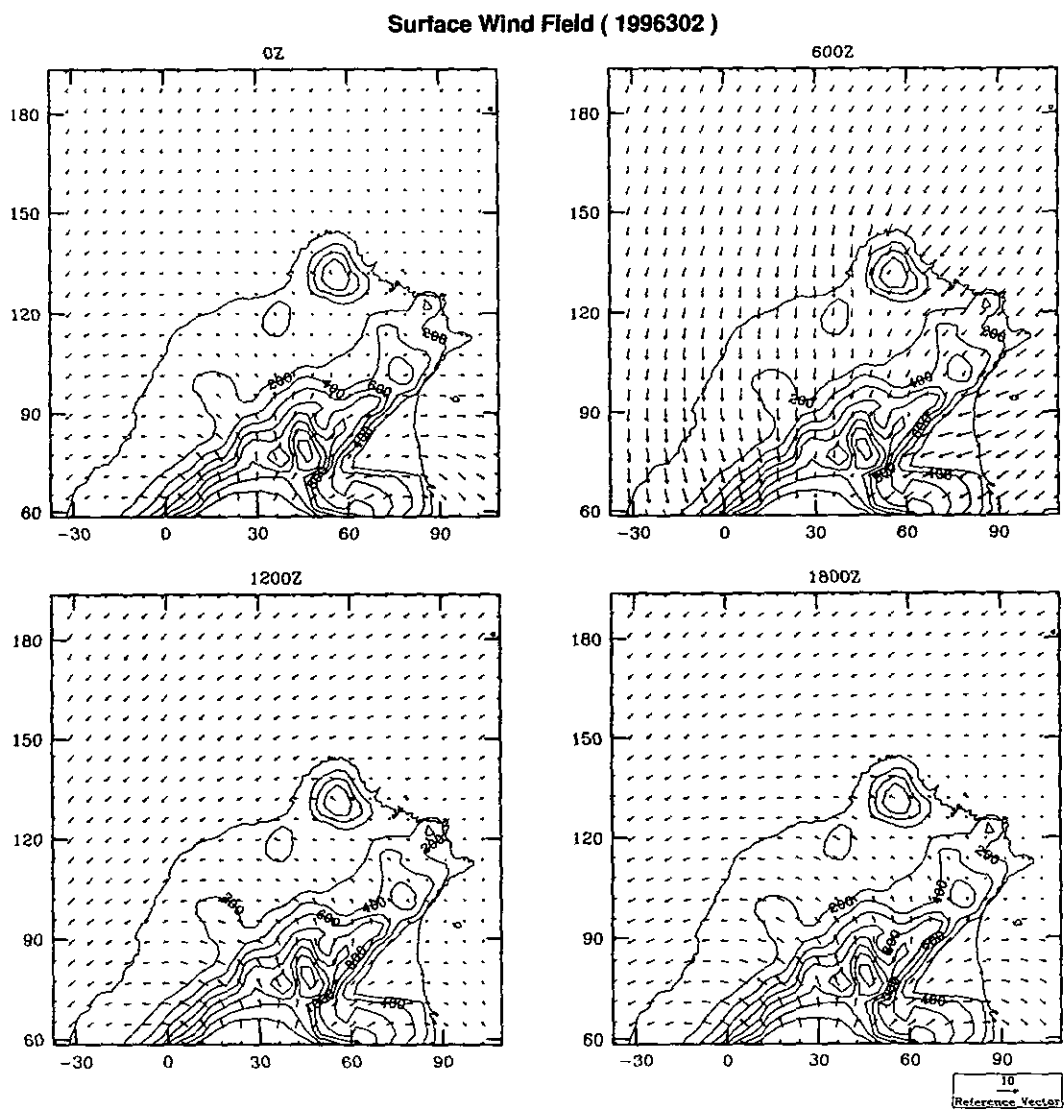


圖 4.36 1996 年 10 月 28 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場

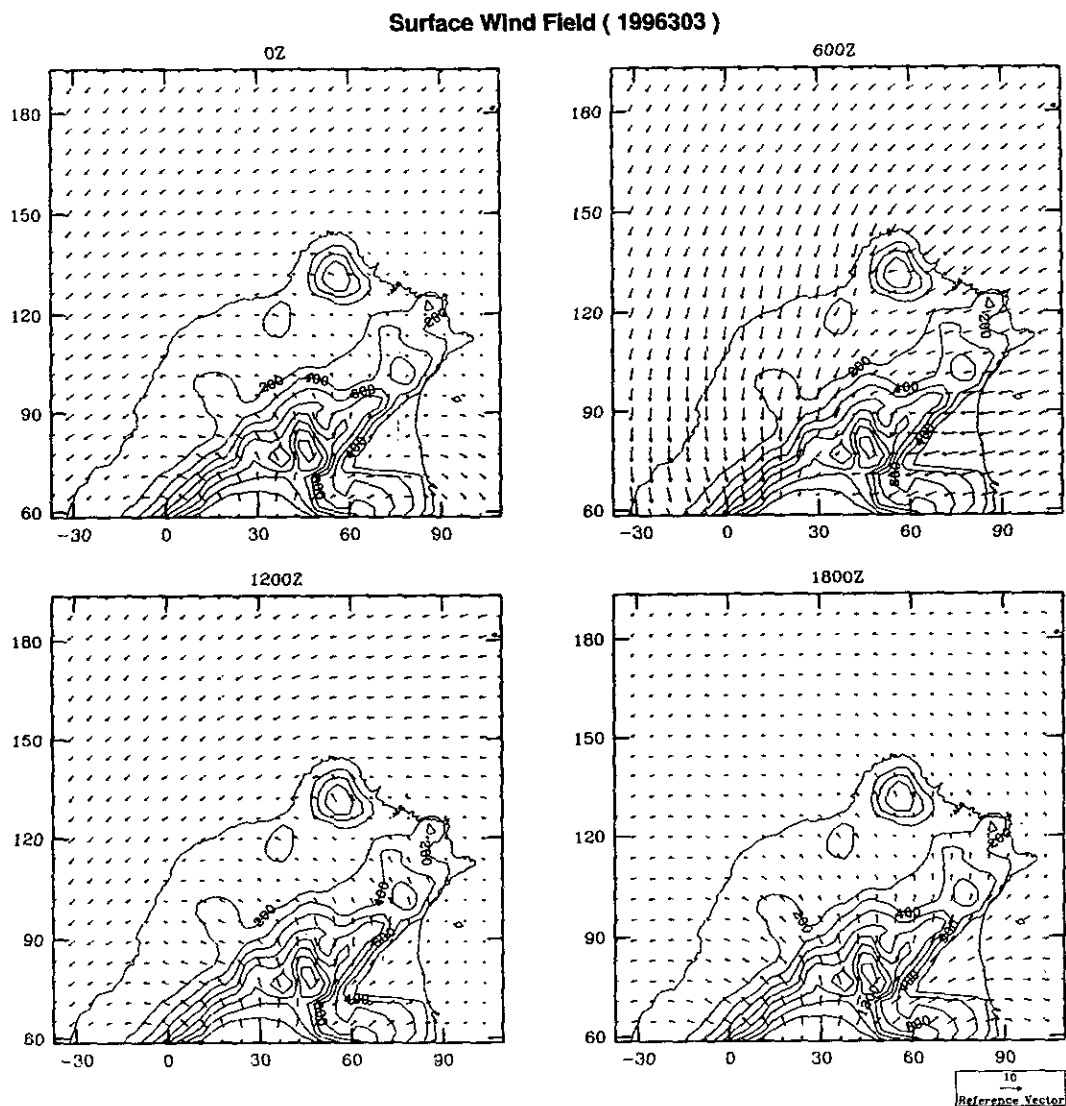


圖 4.37 1996 年 10 月 29 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場

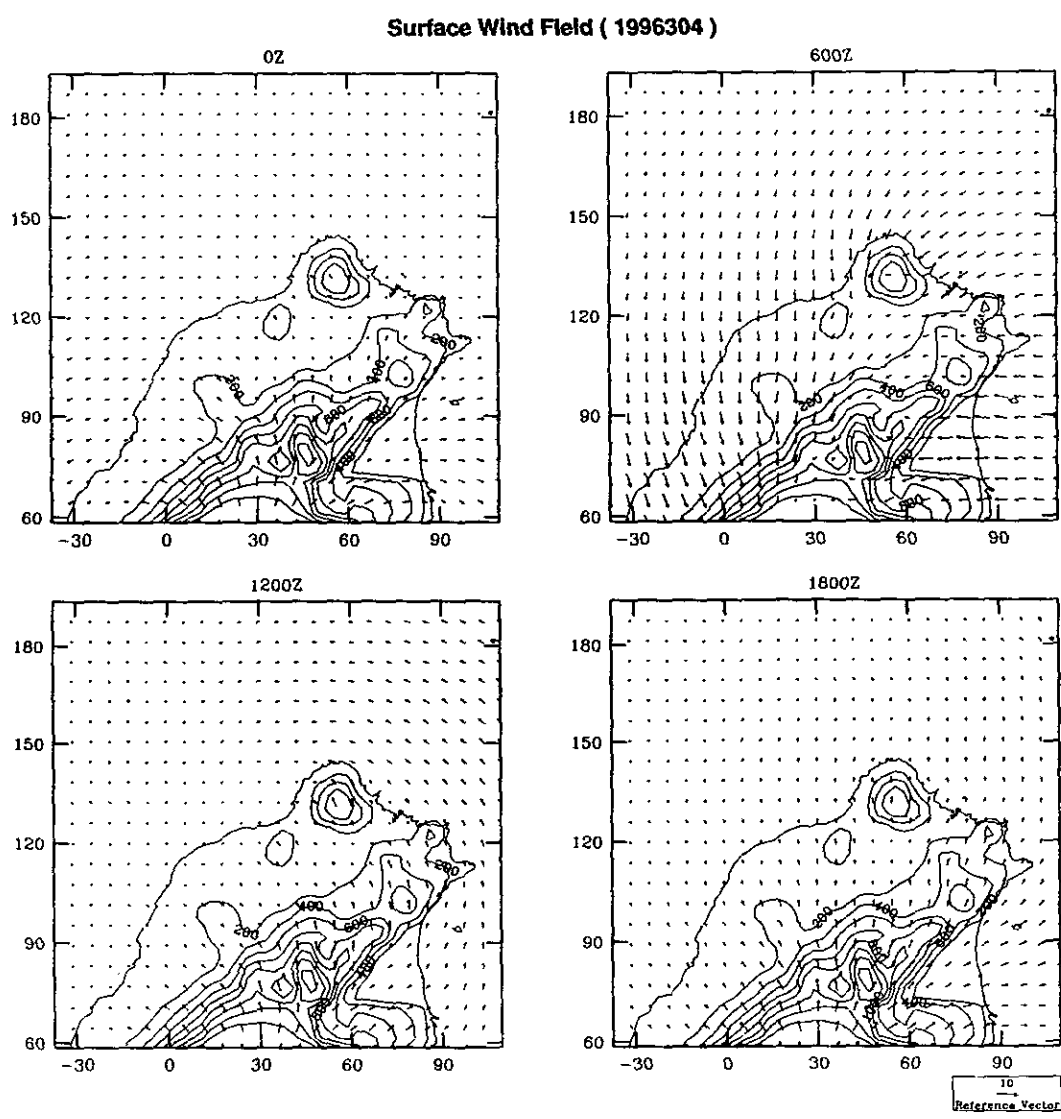


圖 4.38 1996 年 10 月 30 日每隔六小時一次，第四個網格之最下層風場

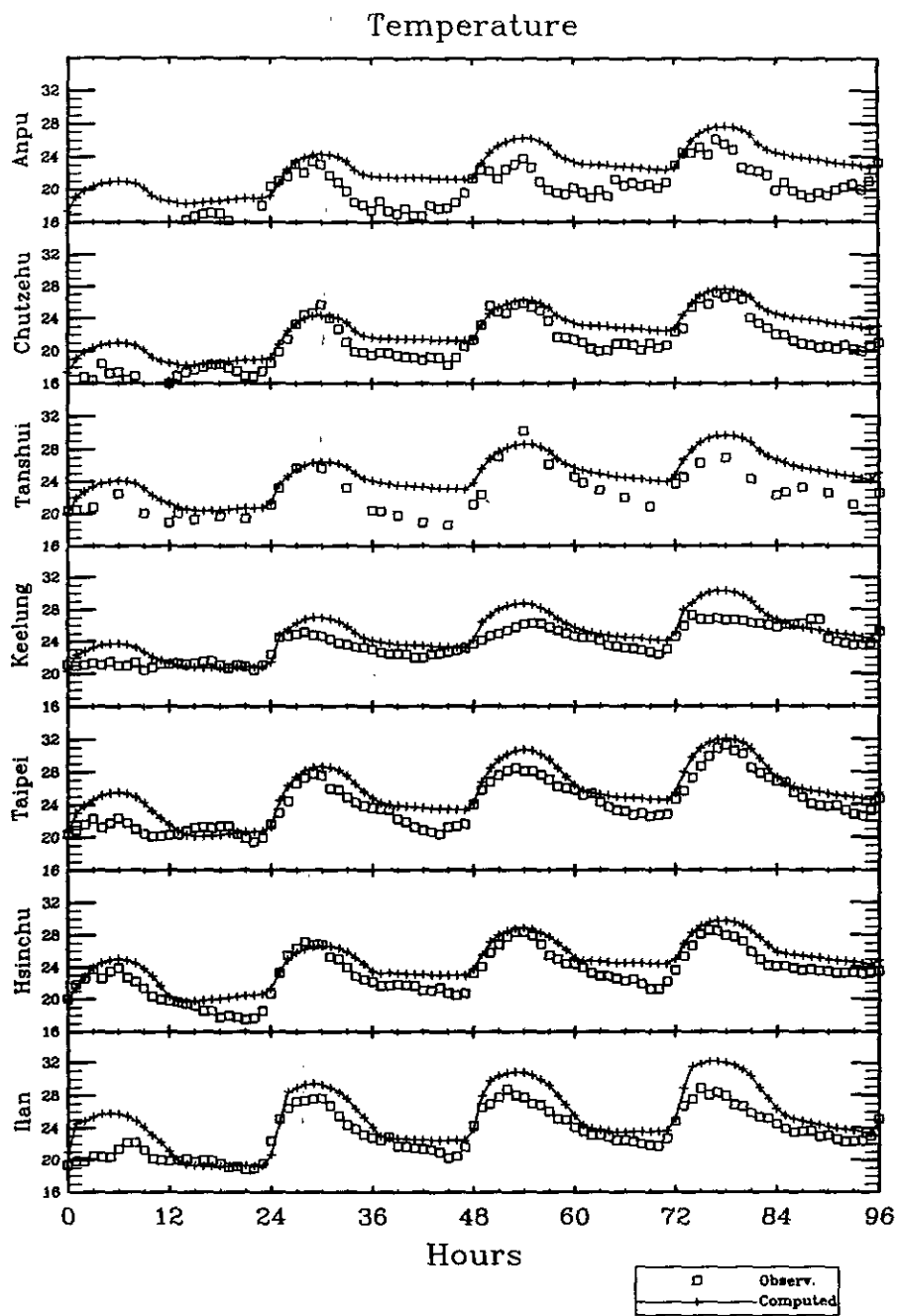


圖 4.39 北部地區案例二模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較

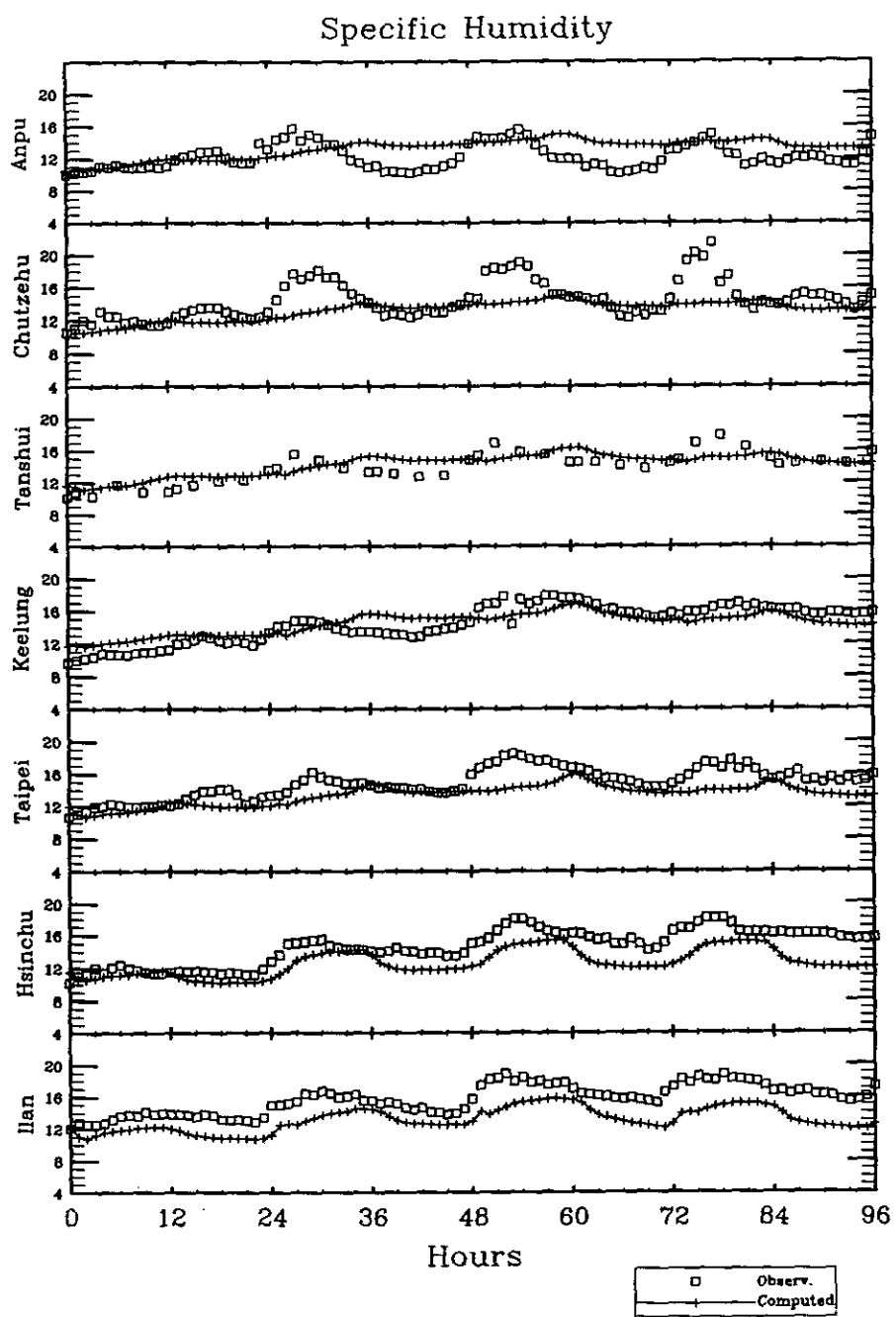


圖 4.40 北部地區案例二模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較

# Wind Speed

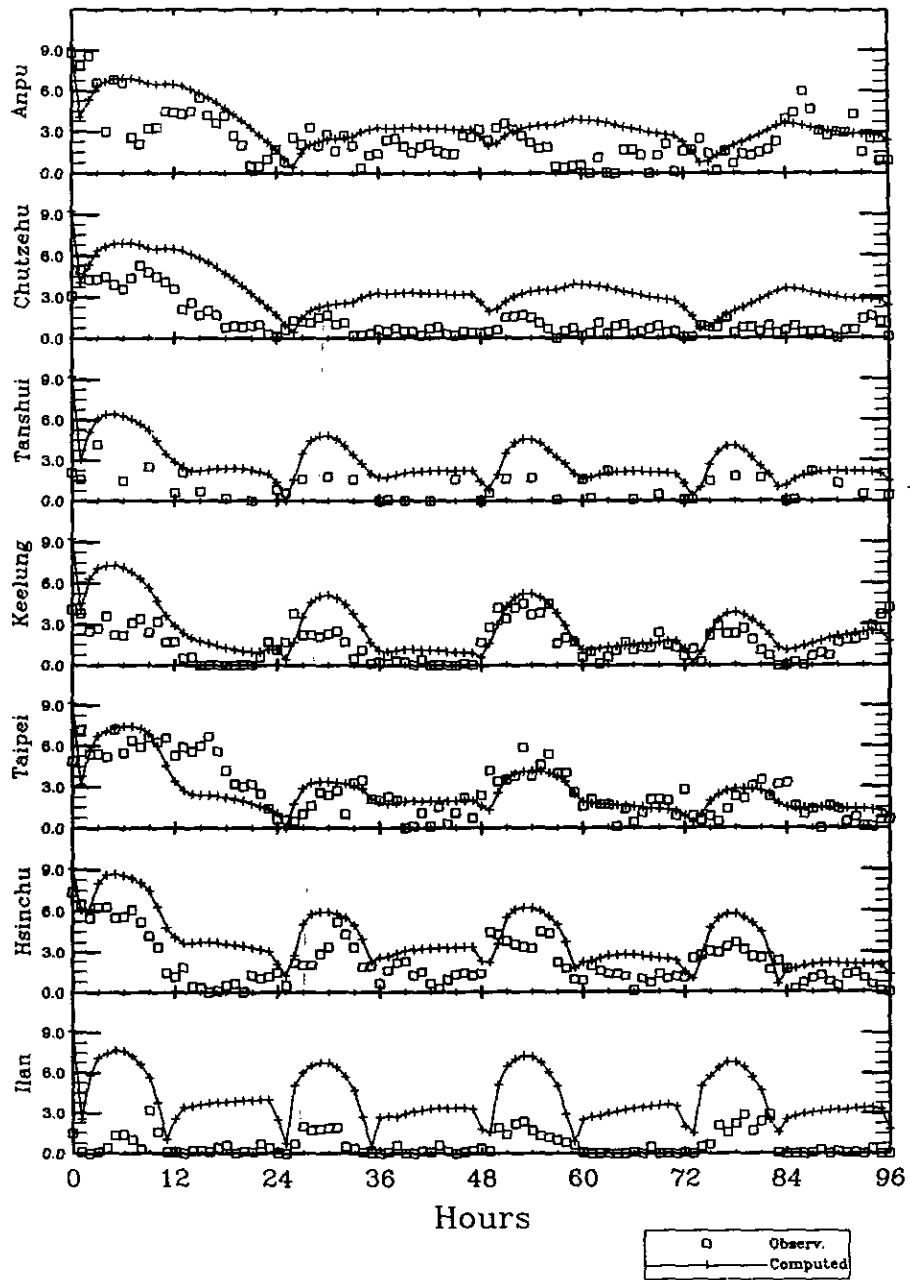


圖 4.41 北部地區案例二模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較

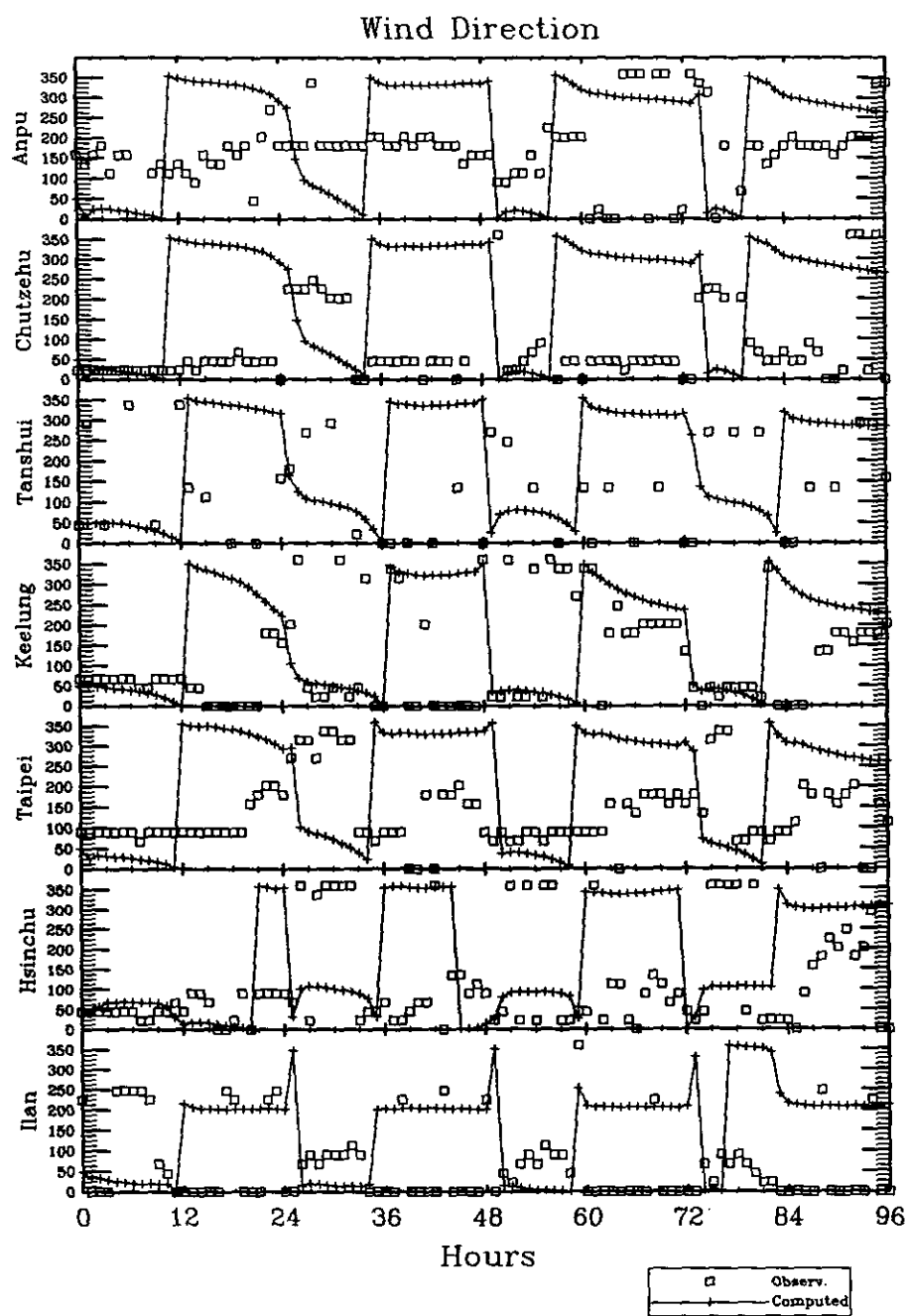


圖 4.42 北部地區案例二模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較



## 4.5 南部地區氣象模擬結果分析討論

### 4.5.1 南部地區案例一(1996 年 10 月 6 日至 10 月 10 日)

南部地區我們所模擬的第一個案例為 1996 年 10 月 6 日至 10 月 10 日，這幾天的天氣圖如圖 4.43 至 4.47 所示。在 10 月 6 日 00Z 低氣壓中心位於(45N, 131E)，向東北移動，其冷鋒自位於朝鮮半島的中心向西南延伸，經長江口到貴州。出海高壓位於日本海及其南海上，脊線由日本東方向西南伸展經台灣北方近海、華南沿海到廣西，台灣地區受此副熱帶高壓脊線所影響，在北部地區都吹東南風或南風，天氣良好。10 月 7 日 00Z 大陸高壓中心位於(37N, 110E)，向東南移動，其冷鋒自中心由日本向西南延伸，經東海南部、福建到廣東。台灣地區位於鋒前，為出海高壓西伸脊線所影響，風向仍為南風。之後，鋒面逐漸靠近。10 月 8 日 00Z 低氣壓中心位於(34N, 140E)，向東移動，鋒面自此中心向西南延伸至台灣海峽北部，台灣地區受此鋒面影響，東北季風逐漸增強。10 月 9 日此一鋒面通過台灣，受東北季風影響北部及東半部有短暫雨。10 月 10 日此一鋒面仍位於台灣東部海面，台灣地區都為東北風。

圖 4.48 至 4.51 為每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場，由於綜觀氣流的改變台灣地區風場在模擬期間也有較大之變化。10 月 6 日受到高壓脊線的影響，台灣東南海域為東南風，巴士海峽為東風；受到地形影響，在台灣海峽南部為東風，但台灣海峽北部為西南風。南高屏地區位於背風坡，為微弱的東風，因此在午後當海風盛行時，使該地區風速變成很低；此與嚴重的空氣污染事件有關。在深夜風向吹往海面，東風風速變大。

10 月 7 日的天氣形態與 6 日類似；但 10 月 8 日隨著鋒面南下，東北季風逐漸增強，此與大尺度的氣候條件變化一致。10 月 8 日整個台灣都吹東北風，風速較強，南高屏雖位於下風坡但整體來看風速仍大，不過如果就更細的風場來看還是有部份地區風速較弱。10 月 9 日鋒面通過台灣，東北季風更強，可是南部地區還是產生高臭氧，可能與局部氣流有關，此我們將在後面再作分析。

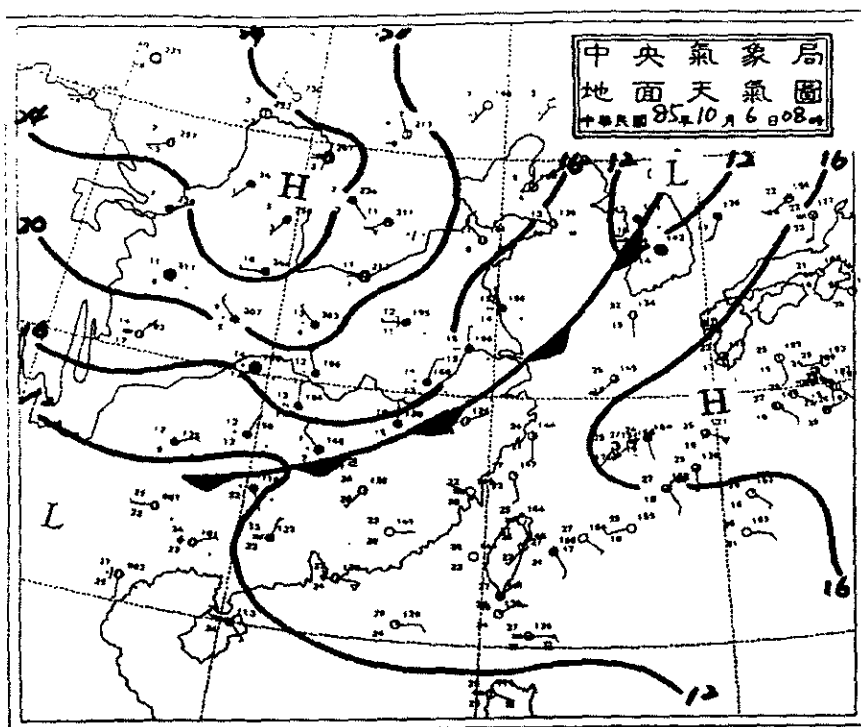


圖 4.43 1996 年 10 月 6 日 00Z 綜觀天氣圖

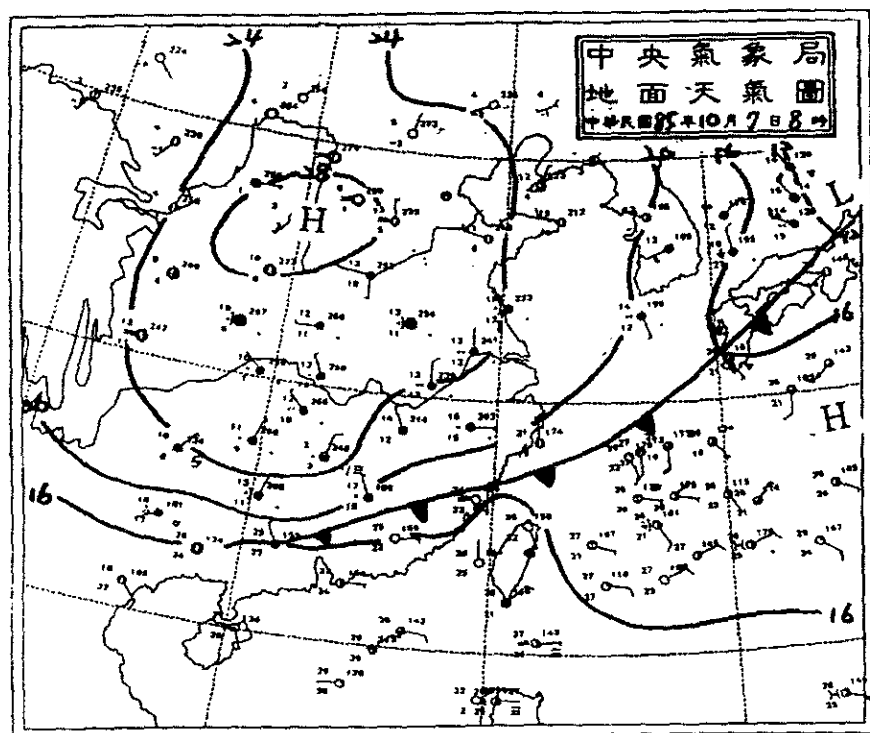


圖 4.44 1996 年 10 月 7 日 00Z 綜觀天氣圖

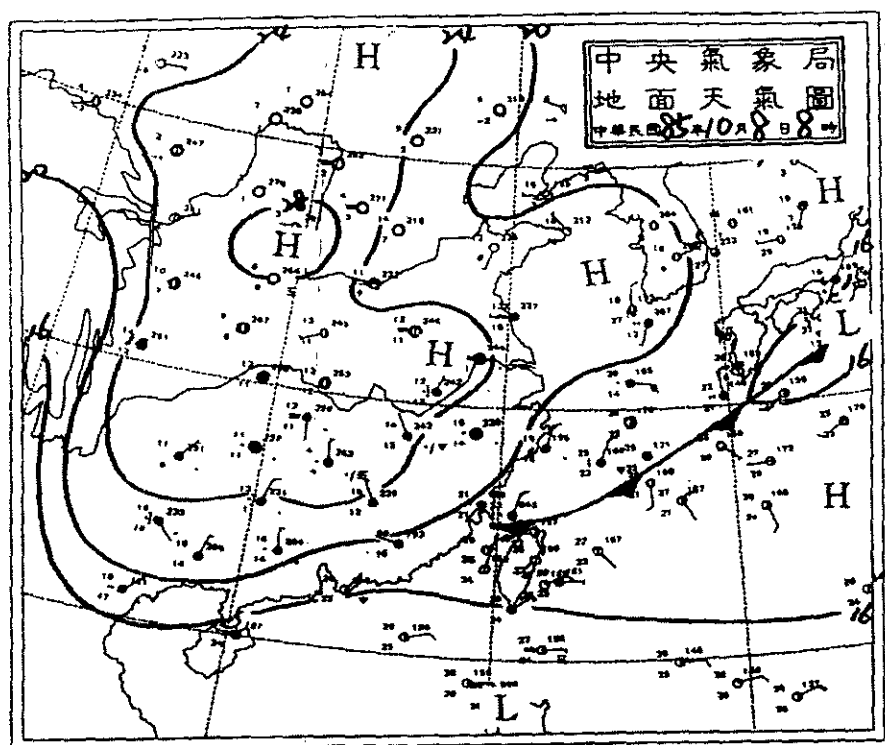


圖 4.45 1996 年 10 月 8 日 00Z 綜觀天氣圖

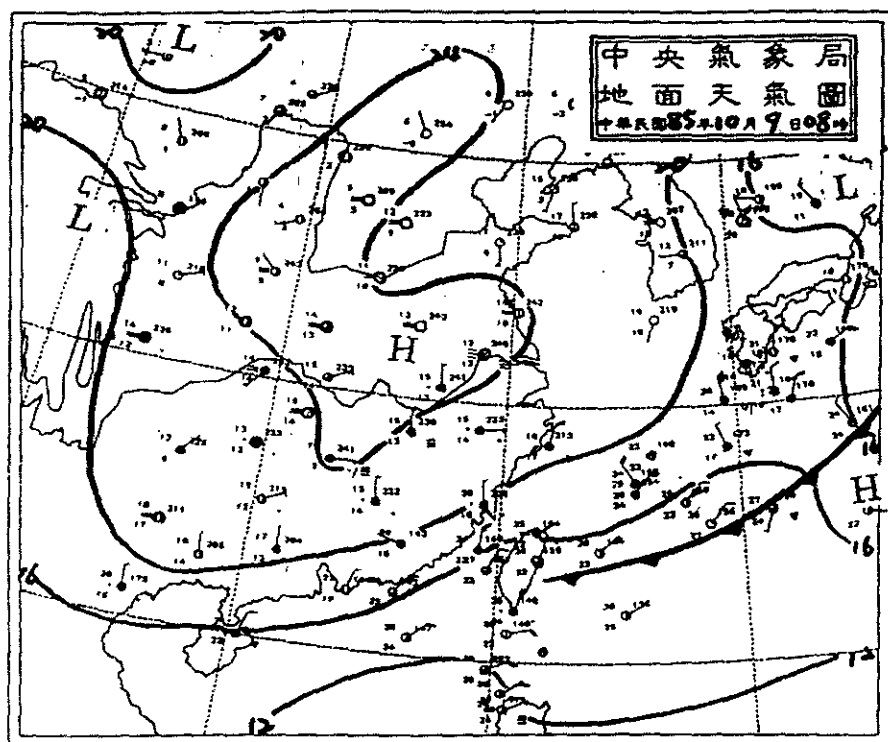


圖 4.46 1996 年 10 月 9 日 00Z 綜觀天氣圖

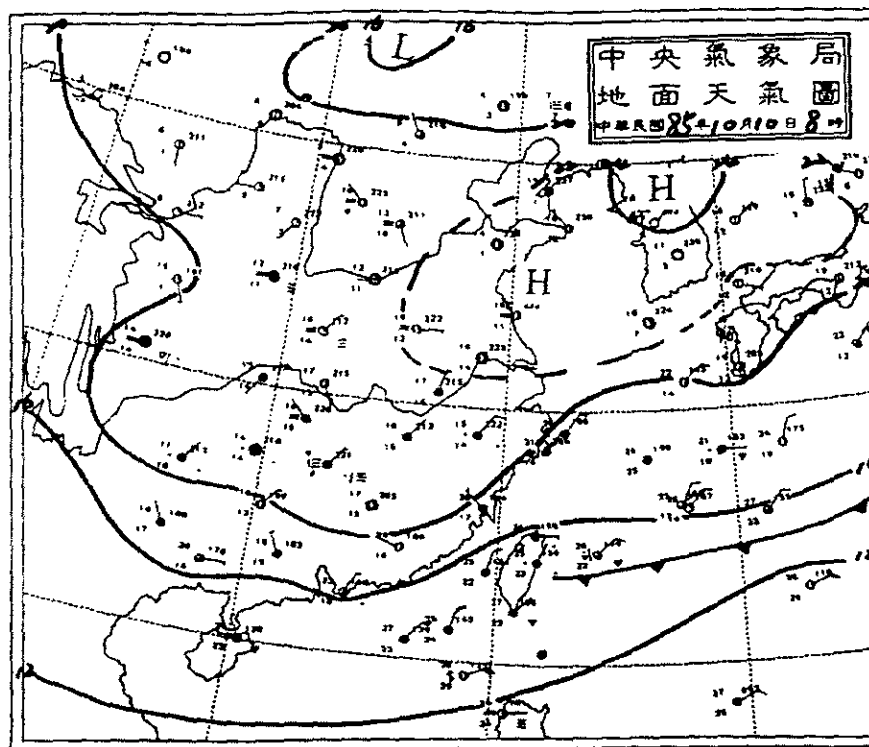


圖 4.47 1996 年 10 月 10 日 00Z 綜觀天氣圖

# Surface Wind Field ( 1996280 )

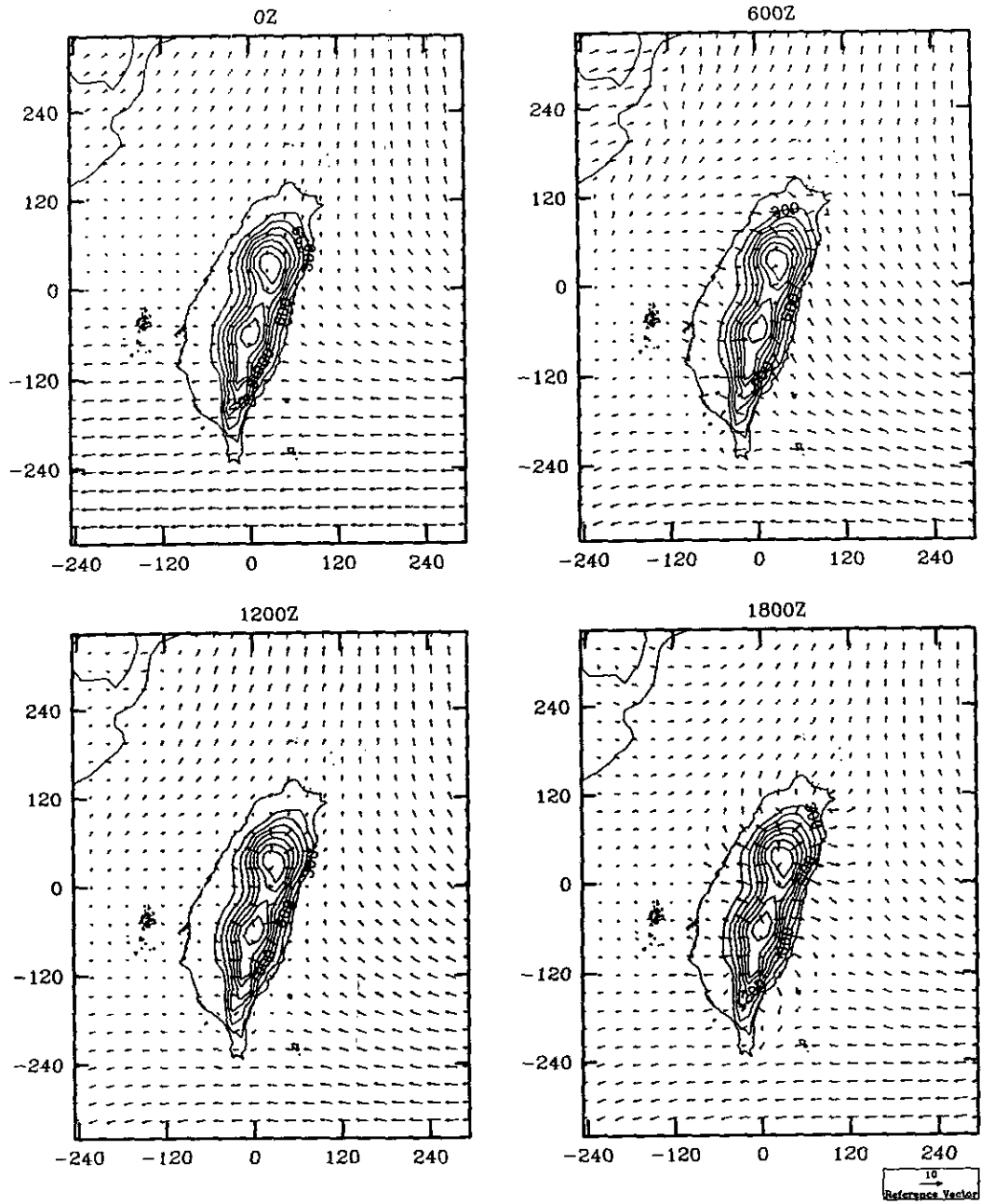


圖 4.48 1996 年 10 月 6 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996281 )

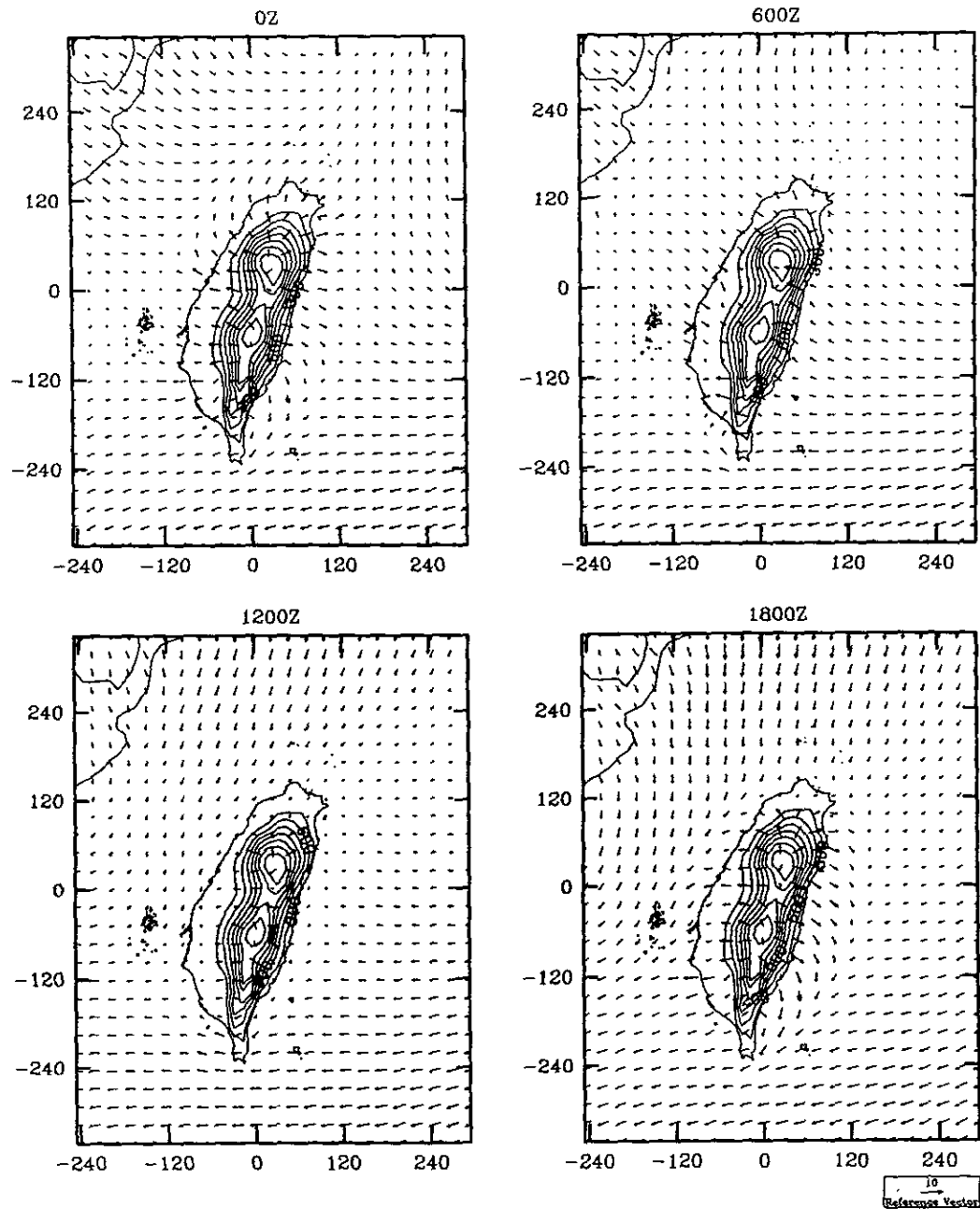


圖 4.49 1996 年 10 月 7 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996282 )

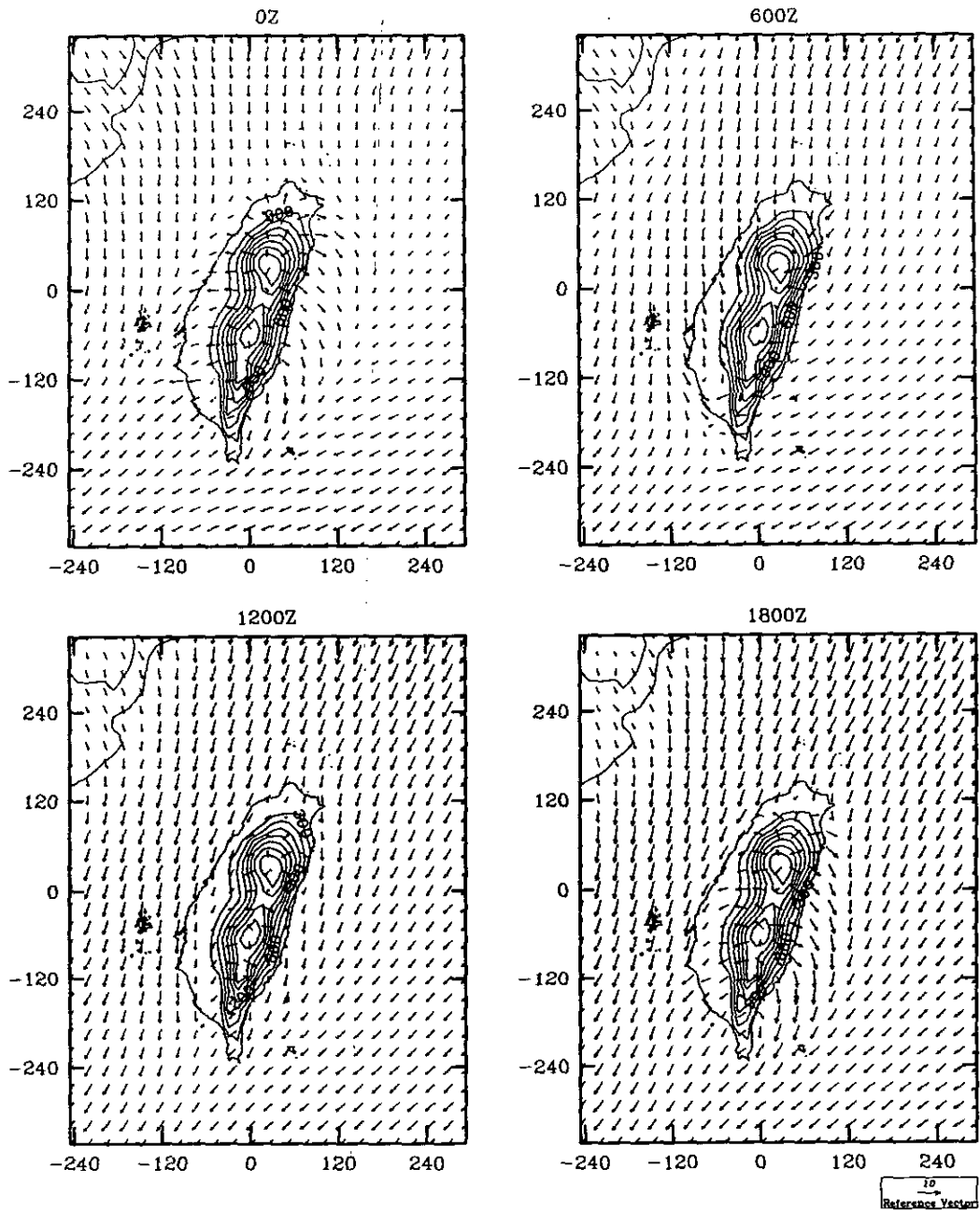


圖 4.50 1996 年 10 月 8 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場

# Surface Wind Field ( 1996283 )

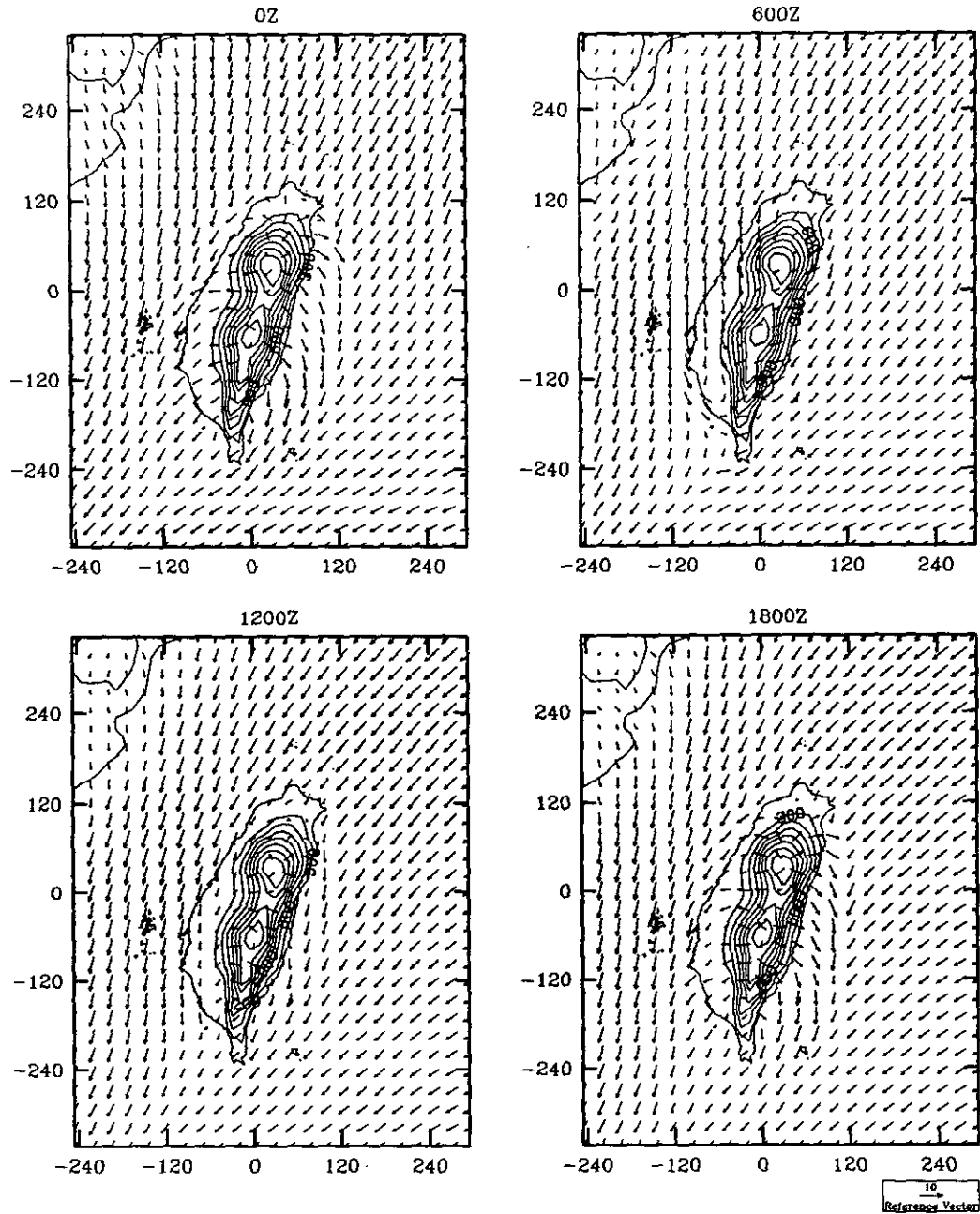


圖 4.51 1996 年 10 月 9 日每隔六小時一次，第二層網格之最下層風場



圖 4.52 至圖 4.55 南部第一個案例第三層網格之最下層風場。此一區域包括台南縣市、高雄縣市和屏東縣。右邊有高山，為中央山脈的南端，對此地區氣流有重要的影響；而左邊則為台灣海峽，晴朗無風的日子容易產生海陸風環流。在 10 月 6 日，此一區域盛行風向為東風，午後(06Z)受到海風的影響，在沿海地區有顯著的海風產生，靠近岸邊的地區地面風速很低，同時產生向岸的氣流，會將污染物吹向山邊，進入分離氣流所產生的渦穴區造成高污染。入夜後產生山風和陸風，所以風向改變吹往海上。10 月 7 日與前一日類似。

到了 10 月 8 日，盛行風向逐漸改為東北風。受到地形和海面的影響，靠近海邊的平地風向變化較大，在白天風向為北風，但到了晚上就成為東北風。在山邊受到渦穴區和山谷的影響，白天風吹入山谷內，晚上又成為東北風。10 月 9 日與 10 月 8 日非常相似，但東北風較強。

圖 4.56 至圖 4.59 為南部地區第一個案例模擬期間台南、高雄、恒春三個地面測站所測出之地面溫度、比濕、風速、風向和模式模擬值的比較。其中以溫度的預測較好，模式計算值與觀測值幾乎相同。比濕的預測也很好，不過對日夜的變化沒有非常精確，其原因可能因為計算值和觀測值高度不一致所致。

風速的預測顯示風速都不大，但觀測值中顯示出強烈的日夜變化，此種現象在北部地區較不明顯，而南部地區三個站則很清楚呈現，可能與海陸風有關，模式計算結果風速變化不大，與實測結果有些差異，此一缺失猶待未來持續改善。

風向部份，大體上預測值與計算結果很吻合，但高雄測站風向每日由上午的南風轉為傍晚的北風，入夜後在轉為南風，日日如此，可是模式沒有此現象，此仍有待改善。

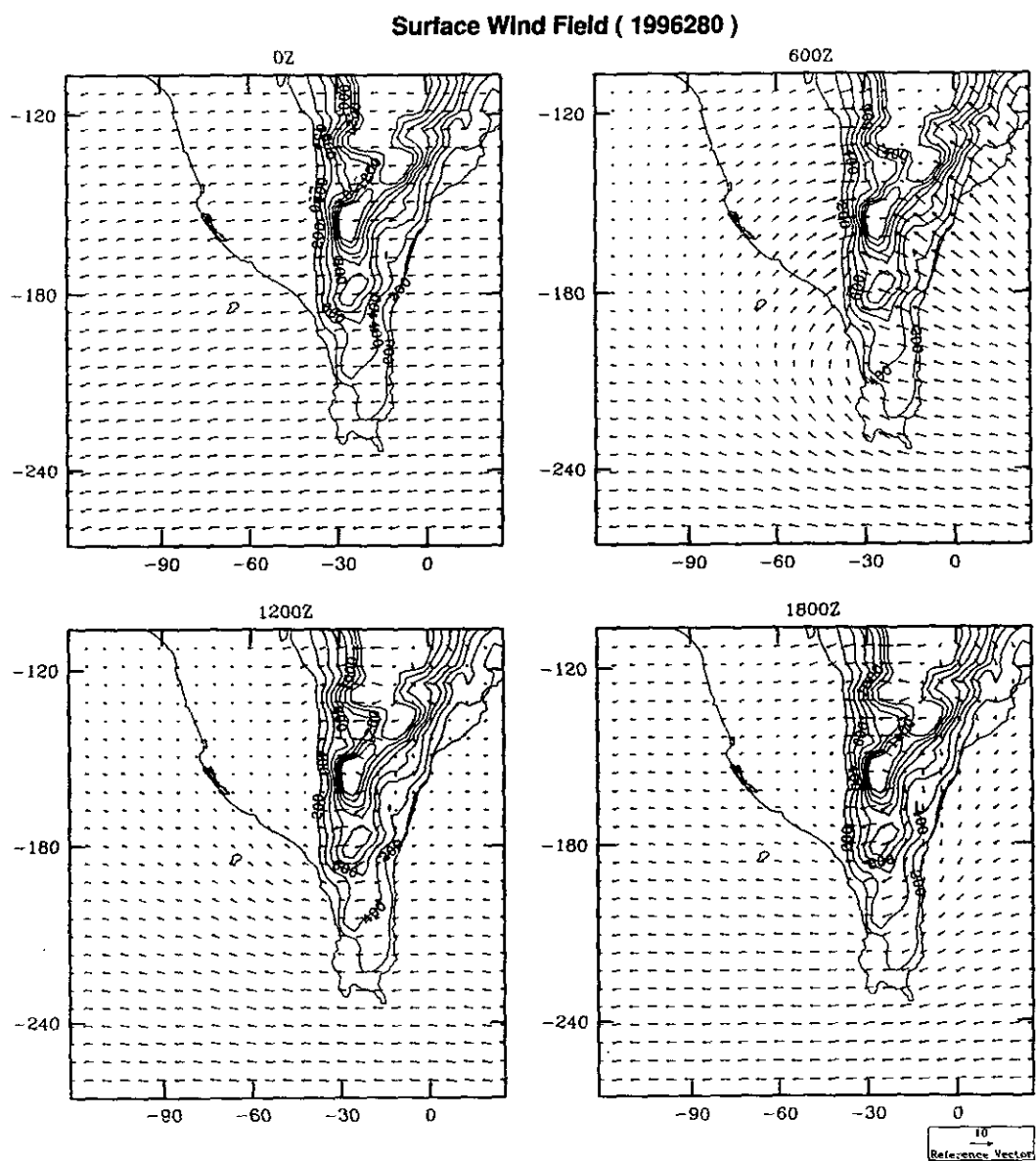


圖 4.52 1996 年 10 月 6 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

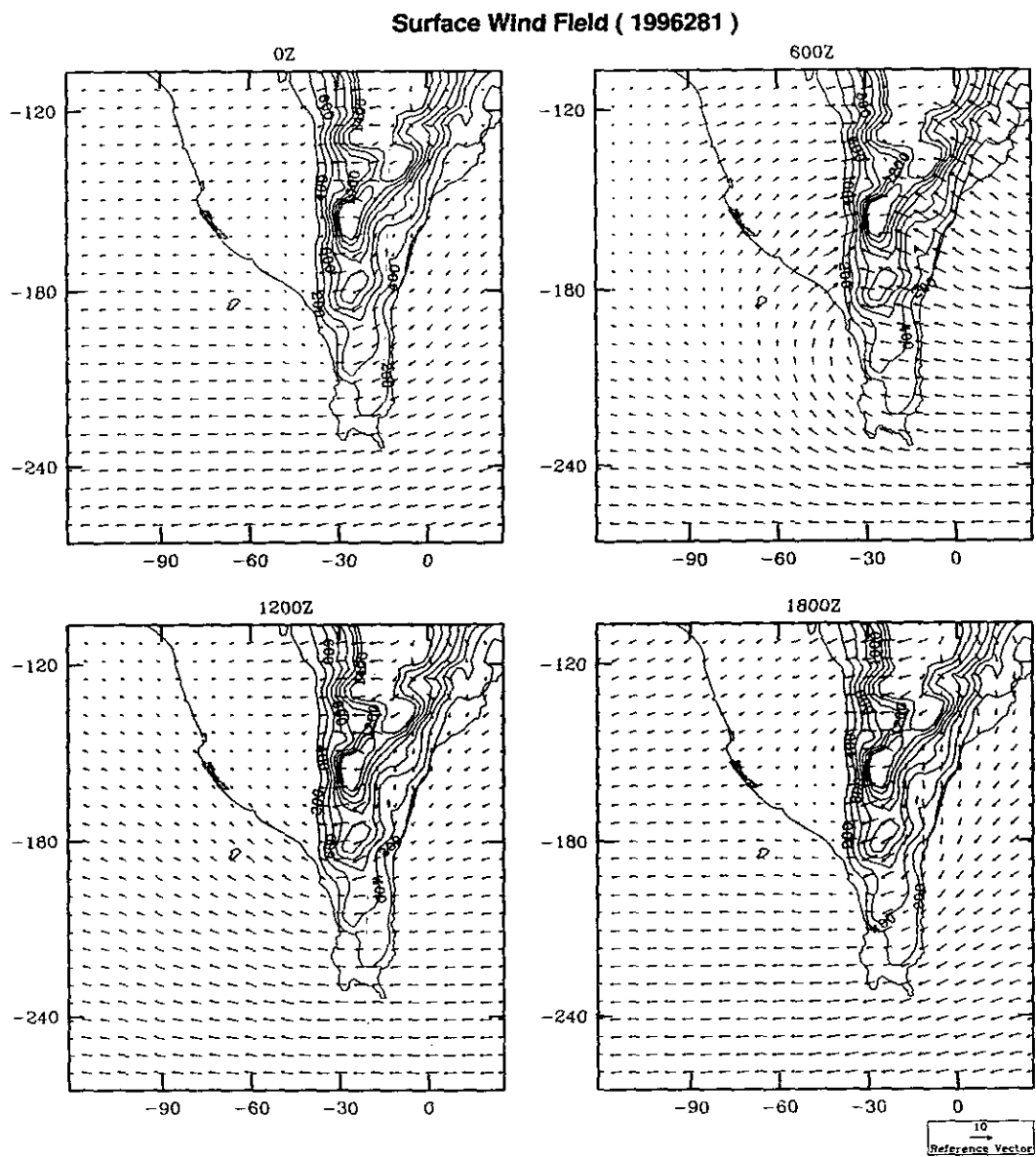


圖 4.53 1996 年 10 月 7 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

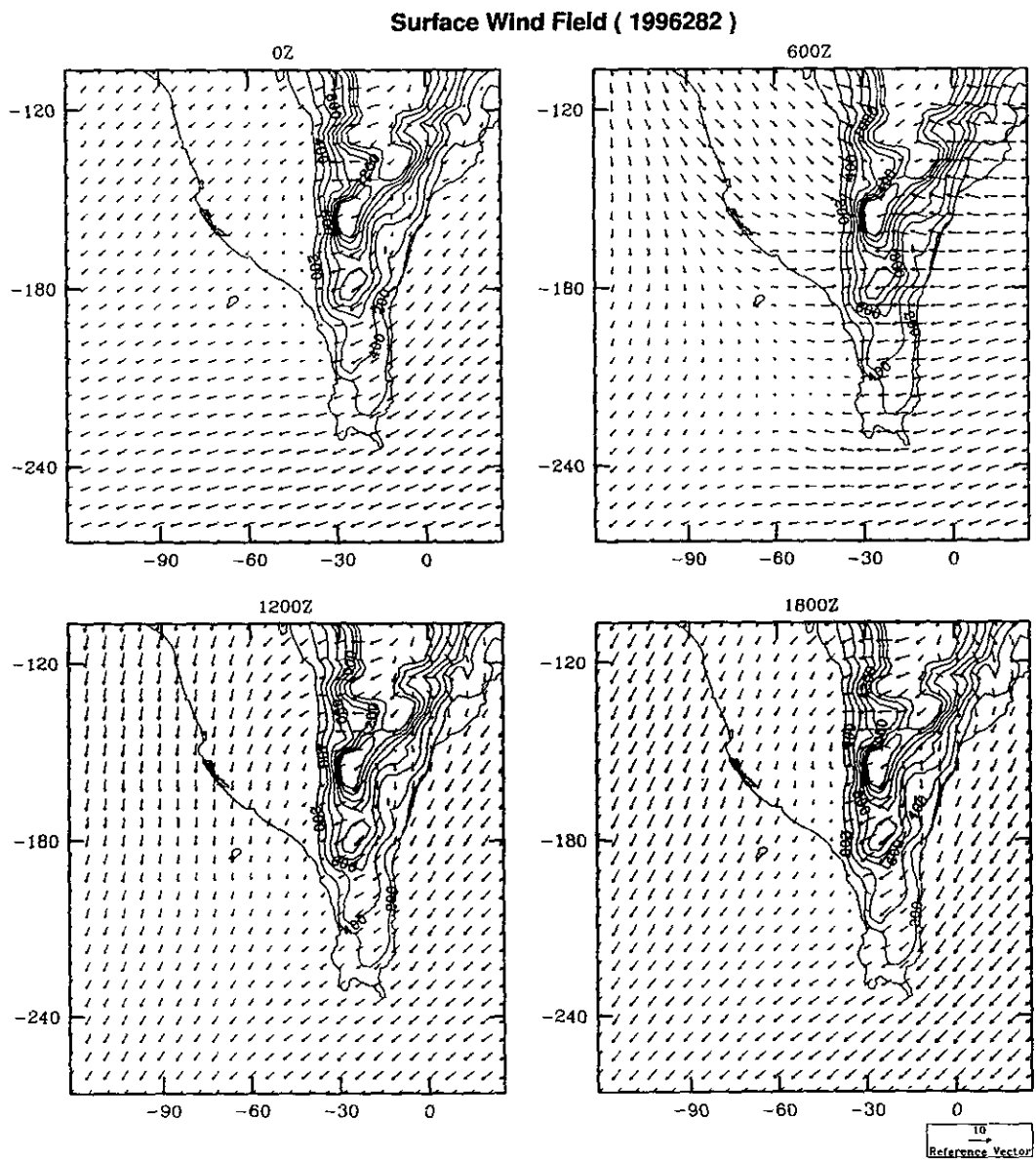


圖 4.54 1996 年 10 月 8 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

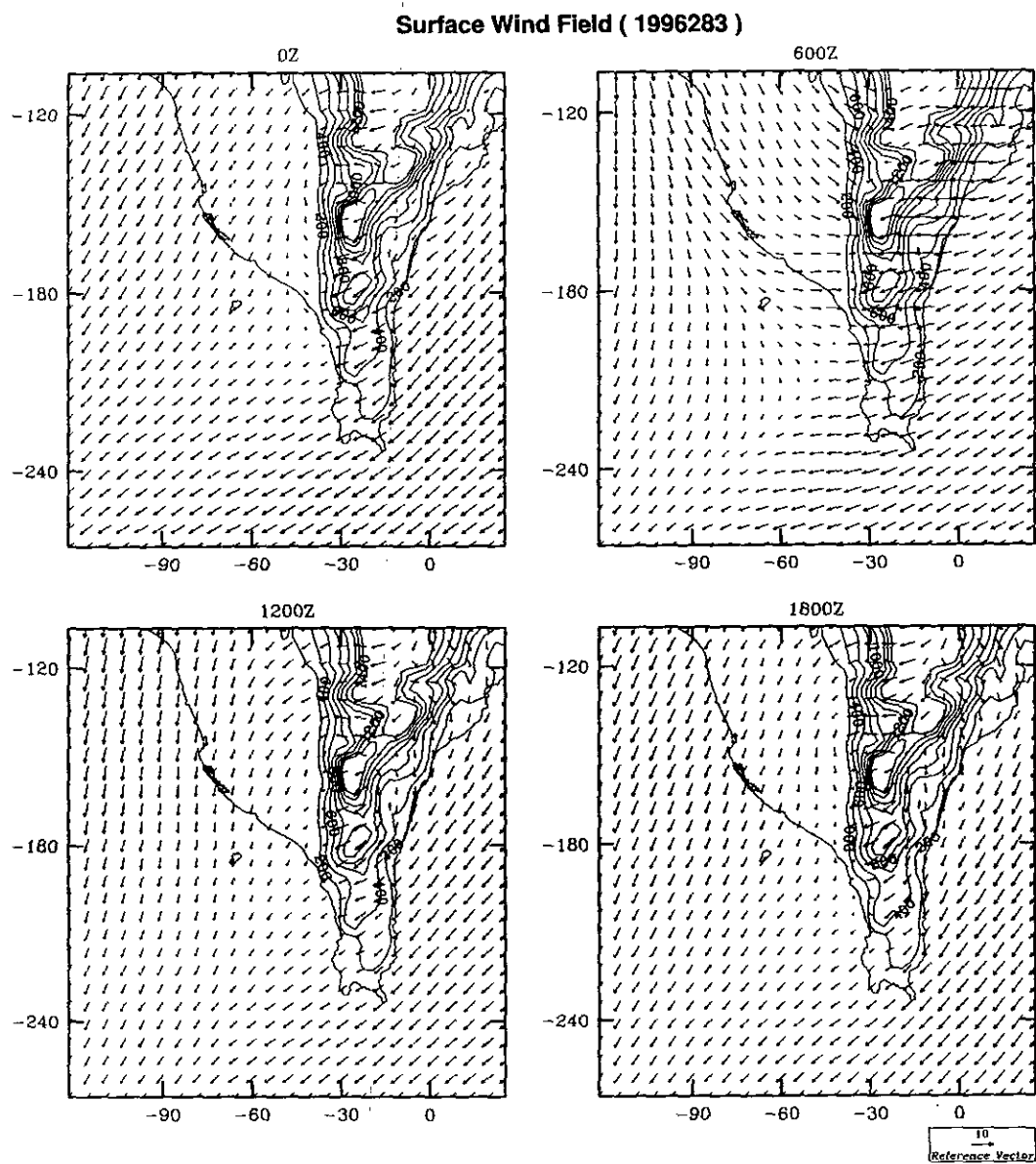


圖 4.55 1996 年 10 月 9 日每隔六小時一次，第三層網格之最下層風場

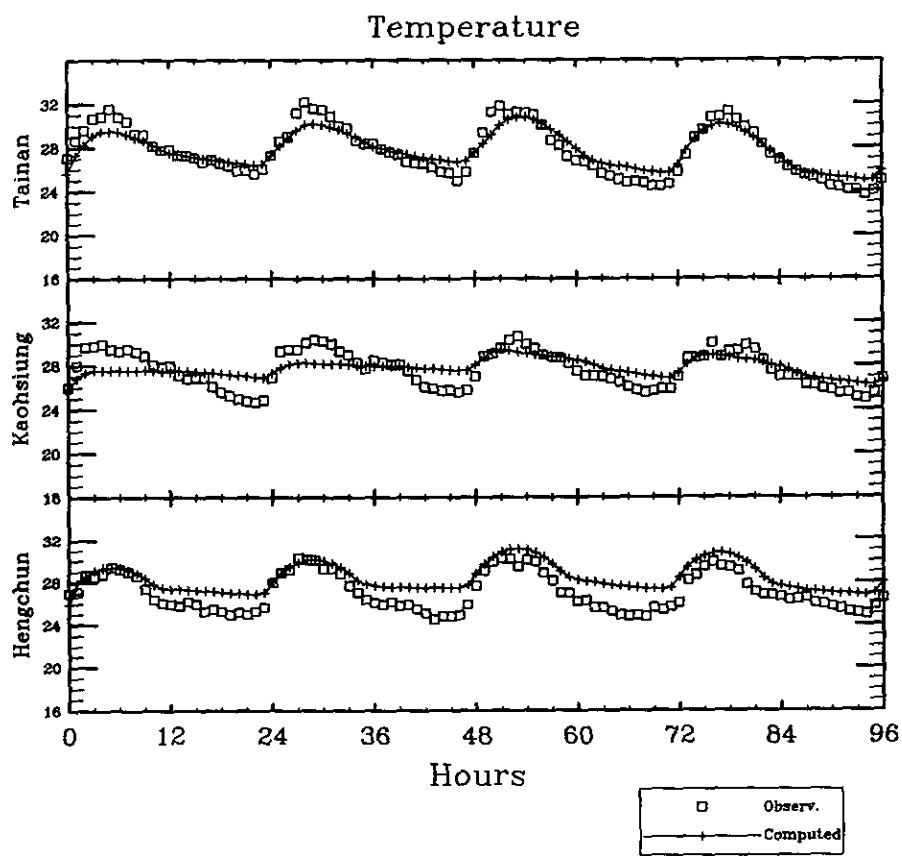


圖 4.56 南部地區案例一模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較

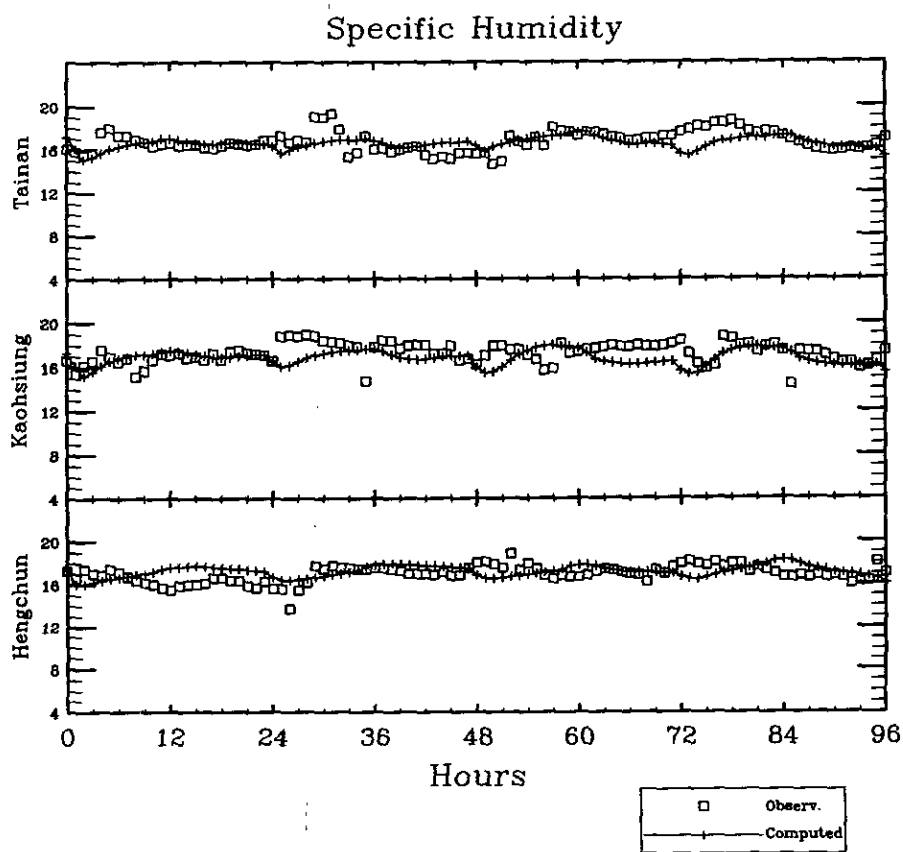


圖 4.57 南部地區案例一模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較

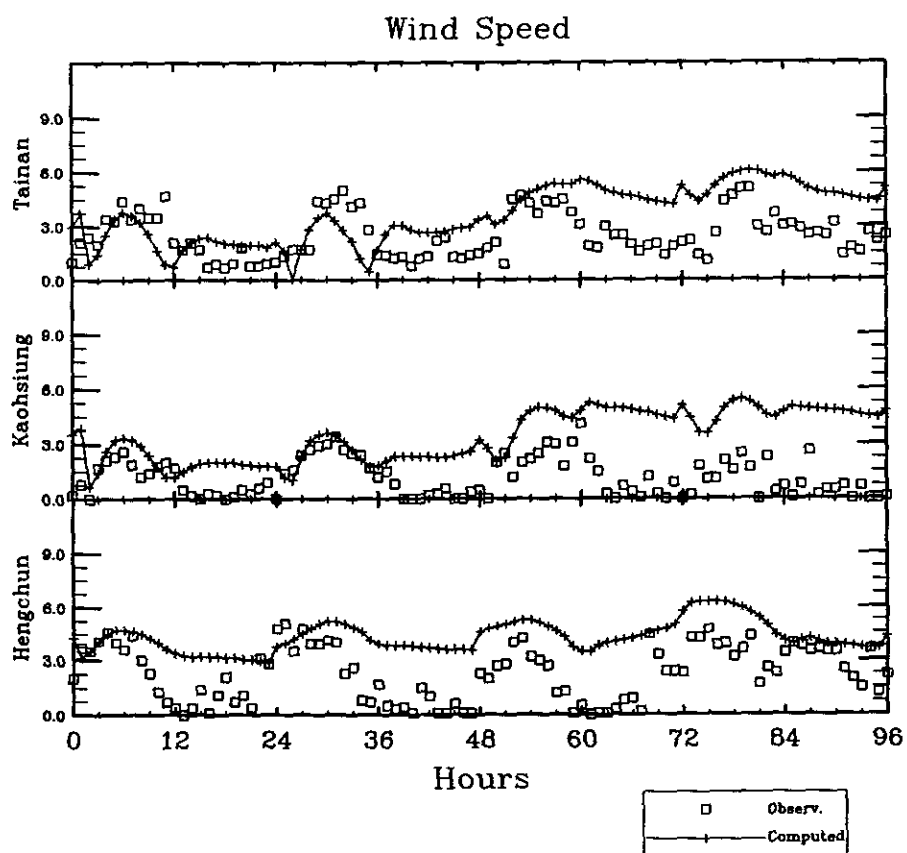


圖 4.58 南部地區案例一模擬期間最底層風速模式計算值觀測值之比較



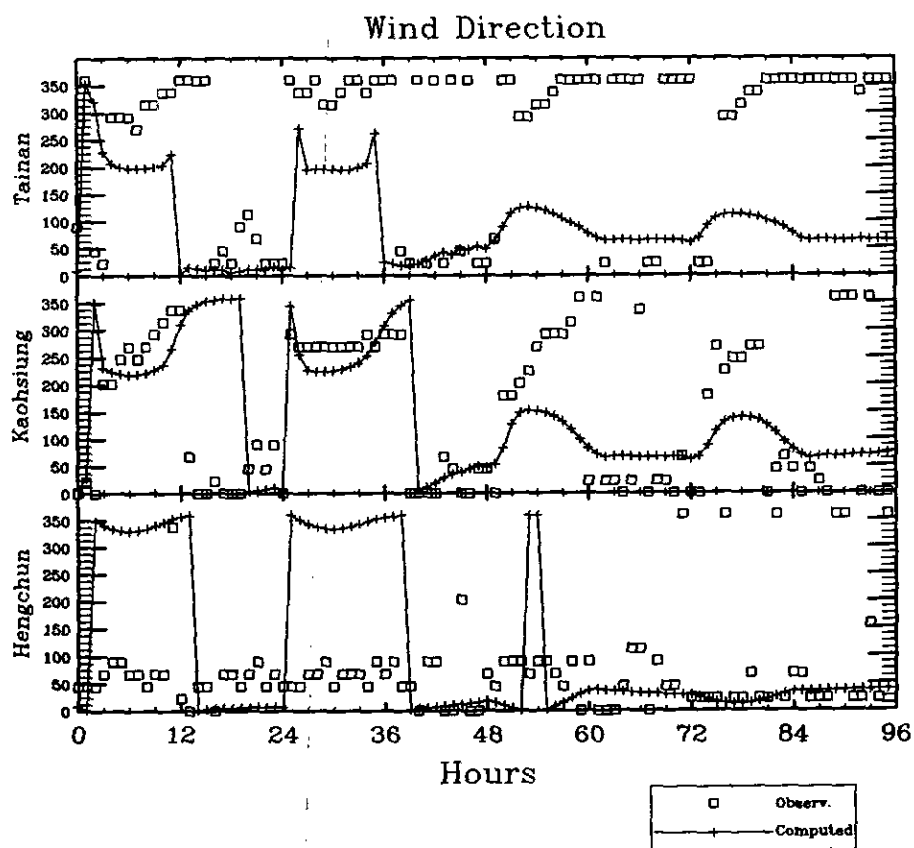


圖 4.59 南部地區案例一模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較

#### 4.5.2 南部地區第二個案例(1996 年 10 月 27 日至 11 月 1 日)

南部地區第二個案例模擬期間與北部第二個案例相同，因此地面氣象圖與第二層網格模擬結果的分析請參考 4.4.2 節，此處不再重覆。

圖 4.60 至圖 4.63 為南部第二個案例第三層網格之最下層風場。在 10 月 27 日至 28 日，此一區域海面上盛行風向為東北風，如同 10 月 8 日一般，靠近海邊的平地風向變化較大，在白天風向為北風，但到了晚上就成為東北風。在山邊受到渦穴區和山谷的影響，白天風吹入山谷內，晚上又成為東北風。10 月 28 日以後盛行風向慢慢轉為東風，因為這幾天都是晴朗炎熱的天氣，所以海陸風非常旺盛，因而午後此一地區風速很低，不利於污染物的稀釋。在夜晚因為陸風與下坡風的風向與盛行風向相同，風速較高，此種現象持續數天，而這幾天臭氧濃度都超過 120ppb。

圖 4.64 至圖 4.67 為南部地區第一個案例模擬期間台南、高雄、恒春三個地面測站所測出之地面溫度、比濕、風速、風向和模式模擬值的比較。跟其他案例相同，以溫度的預測較好，模式計算值與觀測值幾乎相同。比濕的預測也很好，長期變化趨勢非常正確。

風速的預測顯示風速都不大，計算值較觀測值高，但觀測值中顯示出強烈的日夜變化，而模式計算值雖有此一特徵，但風速較高，所以不是很明顯。

在模擬期間各站風向觀測值變化不大，大體上預測值與計算結果很吻合。

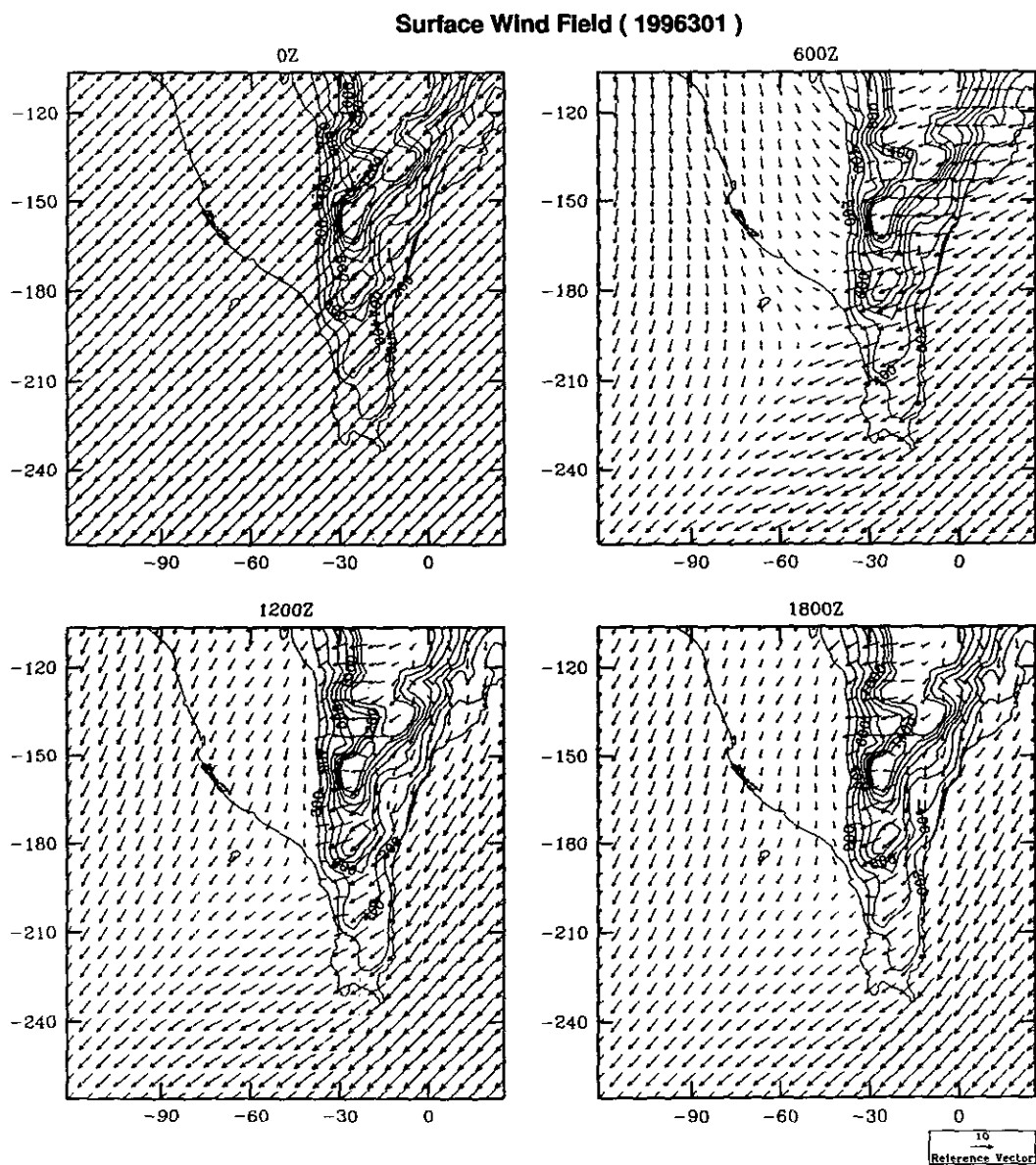


圖 4.60 1996 年 10 月 27 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場

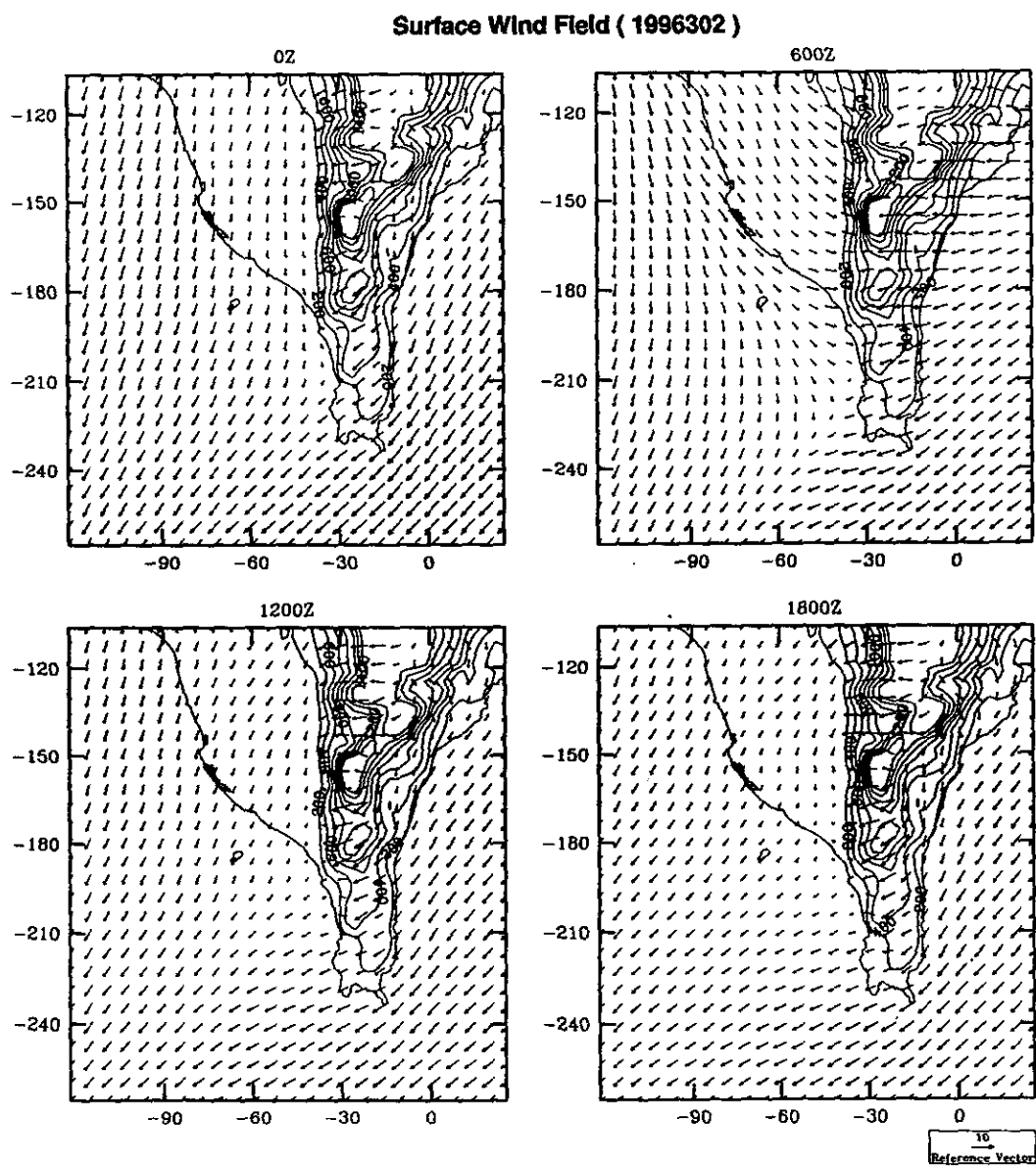


圖 4.61 1996 年 10 月 28 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場

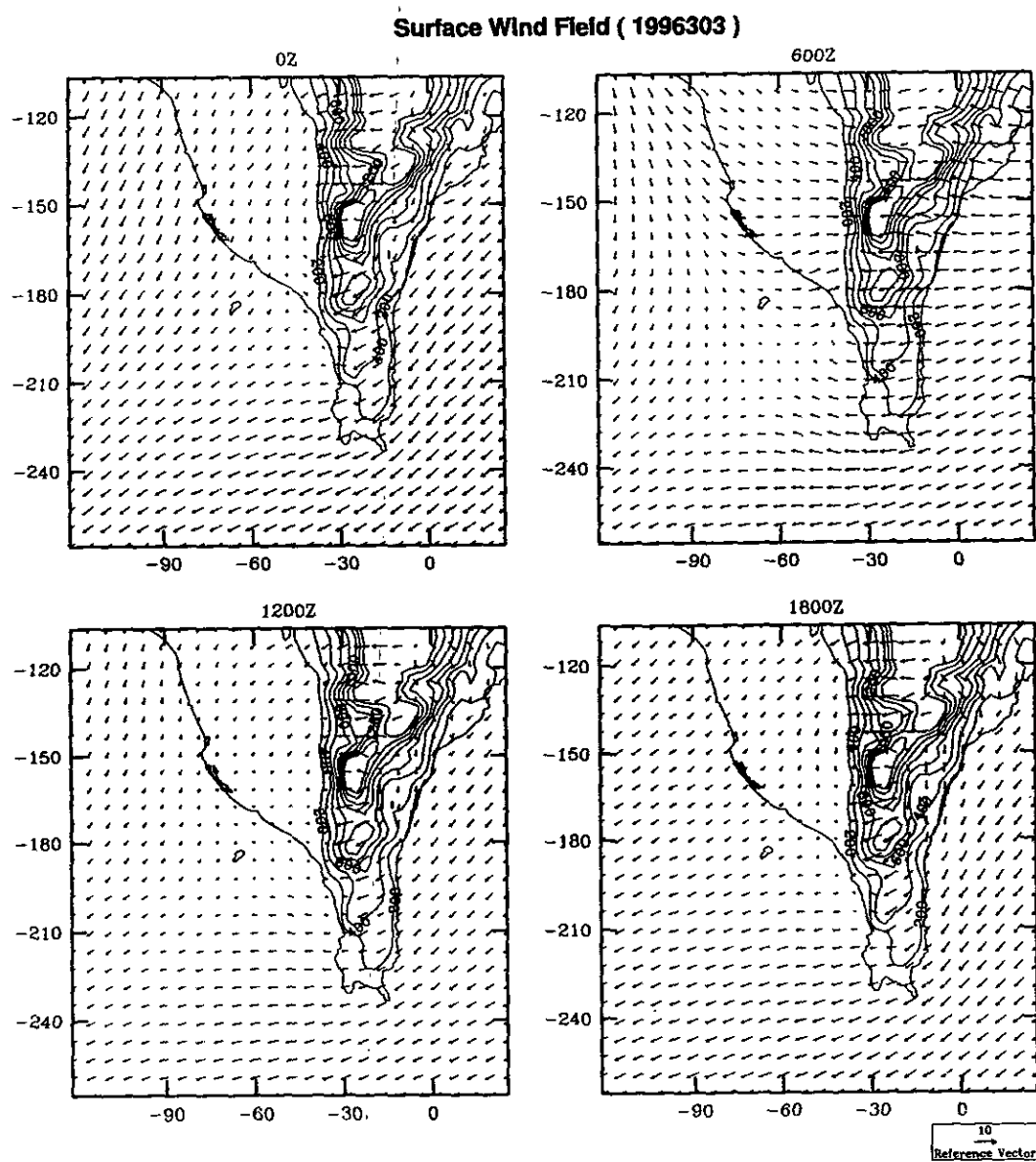


圖 4.62 1996 年 10 月 29 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場

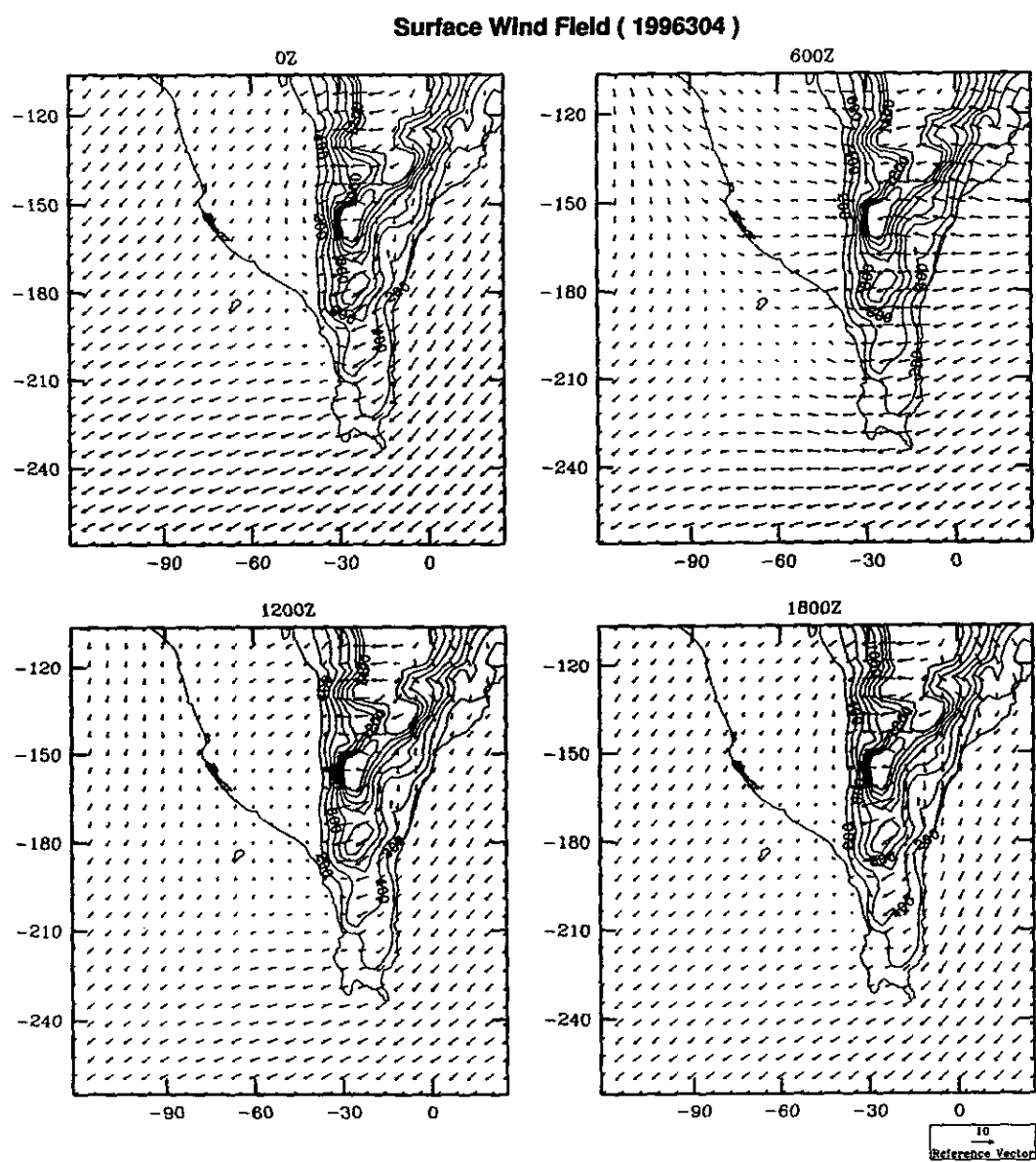


圖 4.63 1996 年 10 月 30 日每隔六小時一次，第三個網格之最下層風場

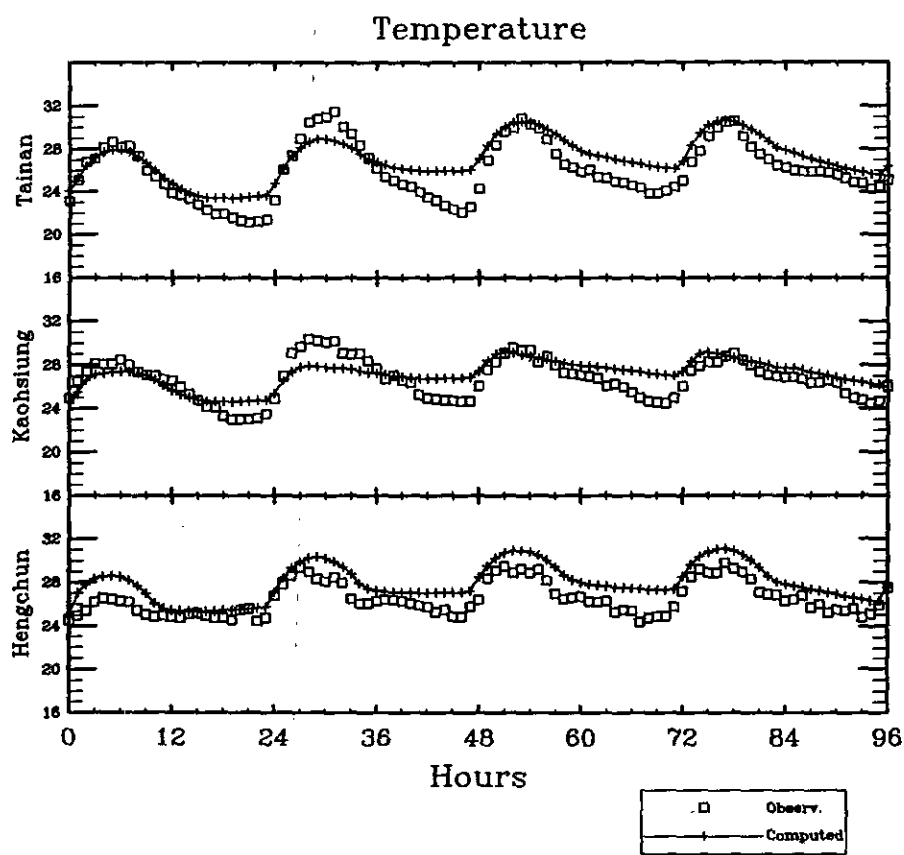


圖 4.64 南部地區案例二模擬期間最底層大氣溫度模式計算值和觀測值之比較

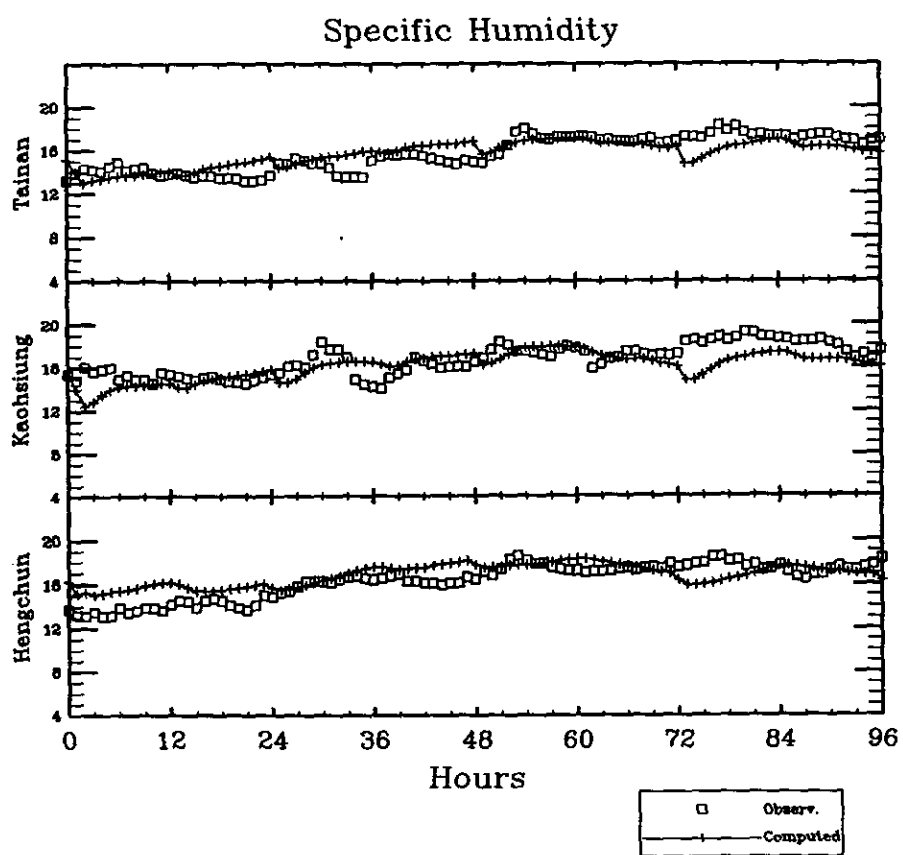


圖 4.65 南部地區案例二模擬期間最底層比濕模式計算值和觀測值之比較



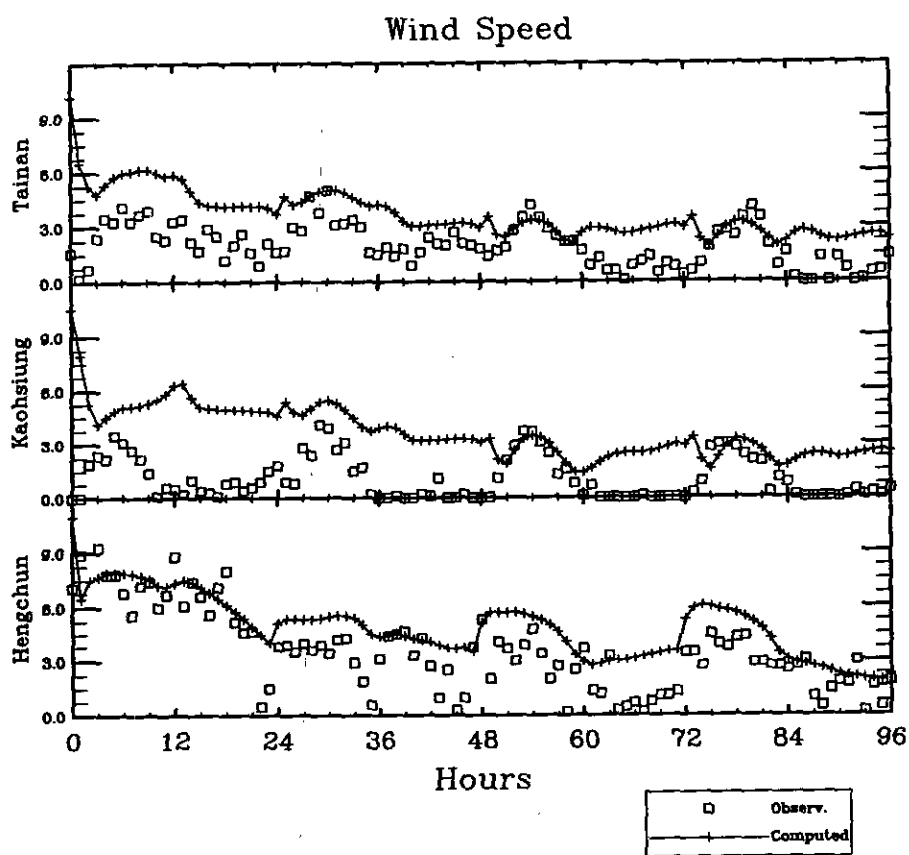


圖 4.66 南部地區案例二模擬期間最底層風速模式計算值和觀測值之比較

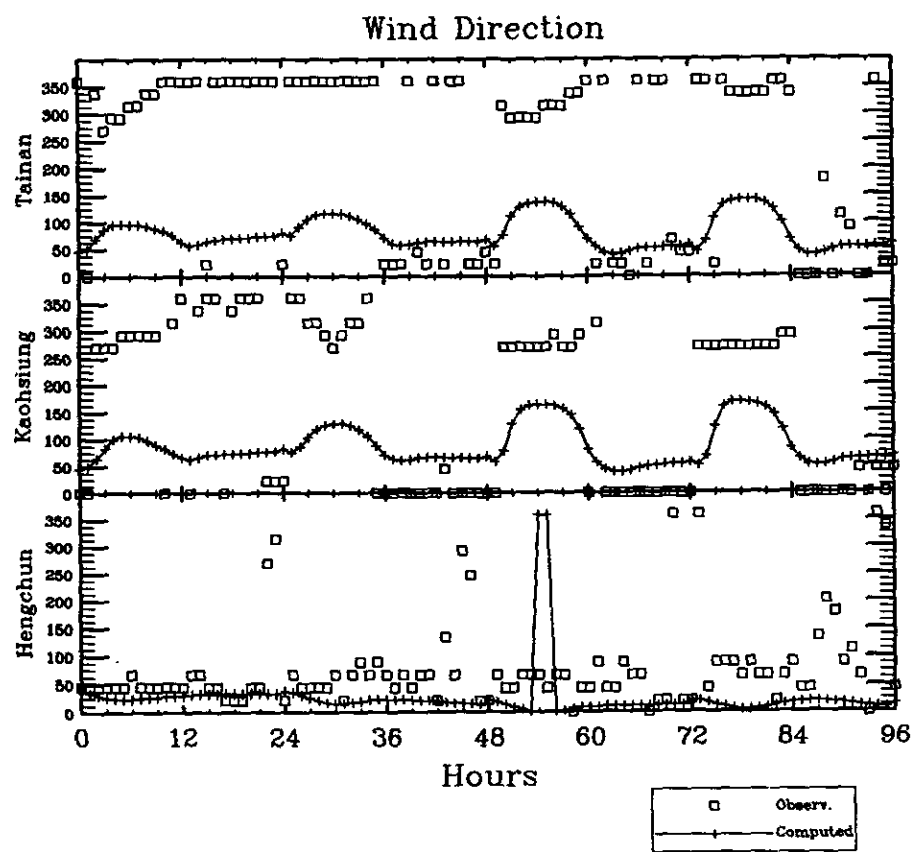


圖 4.67 南部地區案例二模擬期間最底層風向模式計算值和觀測值之比較

## 第五章 污染物排放量推估

### 5.1 污染源排放清單

有污染源才產生污染問題，必須先掌握污染物排放，才能擬定管制措施。要了解光化學反應物前驅物質排放特性須先進行污染源調查，建立污染源清單 (source inventory)。這是一個相當煩瑣的工作，通常由鄉鎮、縣市層級逐步收集資料，彙集成一個大資料庫。中鼎公司曾進行多次此種調查，所建立的資料庫廣為各研究單位應用，在此一研究中我們將以中鼎公司 1996 年的資料庫 (TEDS4.1) 為基礎，配合本計畫所撰寫的排放模式 (emission model) 得到光化學模式所須之輸入資料。

一般排放清單中常將污染源分為下列四類：

**點源：**由固定點 (如煙囪) 所排放的較大污染源，通常其資料包括排放點、編號、名稱、座標、SCC、煙囪出口直徑、高度、溫度、速度、操作時數等各資料。在 TEDS4.1 中點源資料包含三個檔案：工廠資料、各排放口資料、各製程資料，在此一研究中主要使用後兩個檔案。

**面源：**也就是所謂擴散源 (diffusion sources)，即一般農業、林業、礦業、商業、家庭等無法一一考慮的小污染源，將其污染物排放歸類為面源。因為資料收集通常由各鄉鎮為單位，所以排放清單中的資料包括鄉鎮名稱、位置、座標、來源、排放量等。

**移動污染源：**主要為道路行駛車輛及其他非道路車輛、飛機、輪船、火車等所排放的污染源，一般可由車行里程和排放係數之乘積得到排放量，排放係數會受溫度、道路等條件而改變。目前中鼎公司所提供的資料已經將其整理為 UTM 方格內之排放量。此一排放資料無法反應不同氣象條件下的污染物排放量，如果可取得車行里程和排放係數，我們可加以處理得到不同天氣的排放量。

**生物源：**由植物、土壤、雷電等自然來源所排放的污染物，其排放量受溫度、日照、土地使用情形而改變。一般使用生物源模式可求出特定日期、指定地點之逐時排放量。

## 5.2 排放模式

通常污染源調查所求出之資料大都為每年平均的排放量，在空間上則常為鄉鎮的排放量，至於 VOC 則只有總量，因此，須先利用預處理程式將其作時間、空間、氣象條件和物種分配，求出模式所需的輸入資料。過去美國常使用的預處理程式有 EPS2.0，EPS95，SMOKE 等，這些程式功能齊全，然國內污染源排放清單與美國有很大差異，因此無法直接採用國外污染排放模式。在此一計畫中，我們參考國外常用模式，建立一套適合台灣地區使用的排放推估程式。

本計畫所發展的排放模式雖然功能較少，但相對的使用較為簡單，其主要的功能包括：

- 此一預處理程式針對中鼎的資料庫而設計，在中鼎資料庫中座標皆以台灣地區最常使用的 2 度分帶 UTM 座標系統表示，我們所發展的模式依實際須要，輸出檔案可使用經緯座標、UTM 座標或 Polar Stereographic 座標。
- 只要有不同的 VOC 分配係數(splitting factor)表，此一程式可依各種化學反應機制進行 VOC 的濃度分配，目前可用 CBM 及 SPARC 機制，不過只有 CBM 機制真正測試過。
- 點污染源處理：點污染源的計算由各製程開始，首先利用該製程的 SCC 碼，找出對應的 VOC profile 編碼，然後由此一代碼找出 VOC 的分配係數，經此處理後可求出各製程的 NO、NO<sub>2</sub>、CO 及各 VOC 物種的平均排放率。其次，將同一排放口各製程的排放量加以彙整，求出該點源各物種的平均排放量。如果排放高度較低或排放量較小，則將此一點源併入面源處理，只有排放高度超過某一限值時，才以點源方式處理。當 NO<sub>x</sub> 排放量較大時，在 CAMx 模式可用 PIG(plume in grid)演算法，此一預處理程式對此均有適當安排。至此可以將非時變(time-invariant)的點污染源資料輸出，至於其他時變的排放資料則隨後再逐時輸出。
- 面污染源處理：面污染源資料首先將鄉鎮資料分配到各網格上，分配的過程中須要一個對照表，以了解各網格屬於那鄉鎮及分配依據和分配比率。通常此一對照表建立頗為費時費力，我們將使用中鼎公司所建立的對照表，將污染物排放量分配到 1X1km<sup>2</sup> 的 UTM 或方格系統內，因為空氣品質模擬時，並不一定採用 UTM 座標，因此須要再進行插值，求出模擬網格

的排放量。至於 VOC 的分配，則依據面源污染類別碼(NSC code)求出其相對應的 VOC profile，再依 VOC profile 求出各物種的分配係數(張等，1999)。

- 線污染源的處理：線污染源的處理乃參考張等(1999)之方法而得。所使用之輸入資料為中鼎公司 TEDS4.1 之線源排放檔，此一檔案中已求出各網格內、各車種、不同來源的污染物排放量。在我們的預處理程式中，首先作座標轉換，然後進行 VOC 的分配，最後再行時間的分配。在 VOC 分配時，將移動污染源分為三類，即：汽油燃燒後尾氣排放(採用 1203 圖譜)、汽油未燃燒排放(採用 1204 圖譜)、柴油排放(採用 1201 圖譜)。至於時間的分配則參考張等(1999)之報告，得到線源時變化權重表以作為分配的依據。
- 生物源排放量的推估：此一部份之計算採用 BEIS2 模式之演算法，詳細說明請參考下一節。
- 其他：如未來排放量的預測、管制策略對排放量的影響等，此部份功能可能要以後慢慢增加。

此一軟體採用標準的 FORTRAN 90 語法，除輸出可供 CAMx 和 UAMV 使用的二進位(binary)檔案外，還可輸出使用 NetCDF 格式格式的檔案，因此須要 EDSS 之 ioapi 程式庫，此一程式最好在 UNIX 機器上執行。

### 5.3 生物源排放量推估

由植物葉片所釋放出來的 VOC 約佔全球 VOC 排放量的 2/3(Muller, 1992)；在美國生物源 VOC 排放量約佔該國排放量的一半。這些由植物所排放出來的 VOC 對對流層內臭氧的產生有很重要的影響，雖然我們沒法控制生物源 VOC 的排放量，但對生物源 VOC 和 NO<sub>x</sub> 的排放量還是必須加以仔細推估，以作為空氣品質模式模擬的輸入資料。

生物源 VOC 和 NO<sub>x</sub> 的排放量常用美國 EPA 所發展的 BEIS 模式加以推估，此一模式主要根據地面覆蓋資料庫(landcover database)和標準排放率(standardized emission rate)，求出該地在標準狀況下的排放率；然後再配合氣象資料，對溫度、光合活性輻射(photosynthetically active radiation, PAR)等環境因子進行修正，以求出逐時的排放率(Kinnee et al., 1997)。

通常標準排放率資料庫由各項實驗及觀測資料加以整理分析而求出，目前常採

用美國 BEIS2 所附的資料庫(Kinnee et al., 1977)，此一資料庫中主要樹種的 isoprene 和 monoterpene 排放率乃根據 Guenther et al. (1994)和 Geron et al. (1994)求出，農作物的 VOC 排放量則取自 Lamb et al. (1993)，所有排放率皆加以標準化，以代表 PAR 為  $1000 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，葉片溫度為  $30^{\circ}\text{C}$  時之排放率。本研究中亦採用此一資料庫。

決定土地覆蓋的方法有二(Guenther, 1997)，第一種方法需知道該範圍內各樹種的組成，通常由林務局或各地方政府收集相關資料，然後再分配到各網格；此種方法可配合各樹種的排放率，理論上此法所求出的 VOC 排放量較為準確，但須要較多人力用於收集資料，而且資料更新相當困難。第二種方法則只決定該區域的土地使用分類，目前常用衛星遙測資料，求出土地使用分類，再配合該類土地的排放係數，求出排放量；一般而言此種方法所使用的排放係數有較大的不確定性，但此種方法可以很容易得到最新的土地使用資料。

雲林科技大學謝教授(1998)也曾使用 BEIS 模式推估生物源 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量，在該研究中土地使用資料乃將中鼎公司 TEDS 資料庫及林物局「第三次臺灣森林資源及土地利用資料」加以合併求出，根據國外的經驗這種方法應可得到可靠的排放量推估值；然而，要綜合不同資料來源，頗為困難，且台灣地區地貌變化迅速，資料更新不易，容易產生誤差。

在此一研究中我們另外自行發展一套推估方法，和雲科大方法中最大不同為土地使用資料來自 AVHRR(advanced very high resolution radiometer)衛星遙測資料，美國地質調查所(USGS)的 EROS (Earth Resources Observation System) 資料中心，利用 AVHRR 的 NDVI(normalized difference vegetation index)圖，並配合當地高程、氣候、生態區和其它輔助資料，求出 159 種季節性土地覆蓋(seasonal land cover classes)資料，通常這些季節性土地覆蓋資料可再加分析，求出更精簡的土地分類(如 BATS, SiB, USGS 模式等)，以供實際應用，在此一計畫中生物源排放量推估採用 USGS 模式，此一模式將土地分為 24 類。這些全球土地使用資料解析度達每公里一點，已足敷此一計畫所須精度。

生物源排放量推估程式計算流程如下：

1. 讀取 USGS 資料，將原先使用的座標轉為經緯網格座標，再轉換為其他座標。
2. 利用各  $1\text{km}^2$  網格的土地使用資料，求出該網格在標準狀況下 VOC 和  $\text{NO}_x$

的排放率。

3. 配合氣象條件求出各地的 PAR 和溫度，進而求出各修正係數，得到各網格的逐時排放率。
4. 將 monoterpenes 和其他 VOC 物種，依所用的化學反應機制加以分配。
5. 配合空氣品質模式所用的網格，求出模式網格內各物種的排放率。

#### 5.4 光化學污染前趨物排放量分析

表 5.1 為依 TEDS4.1 所求出的各縣市  $\text{NO}_x$  和 THC 的排放量，台灣地區每年  $\text{NO}_x$  排放量為 516708 公噸其中以點源所佔比重較大(55%)，其次為線源(41%)，而面源則較小(4%)。至於在 THC 方面，每年排放量約為 2 百萬噸，其中生物源幾佔總排放量的 54%，比人為產生的 THC 還多，不過中鼎資料庫中生物源的排放量似乎高估(見下面討論)，人為產生的 THC 以面源最多，其次為線源和點源。

不同的縣市其排放特性也有很大的差異，台北市  $\text{NO}_x$  主要來自面源和線源，點污染源則影響較小；而高雄縣市則為主要的工業區，其  $\text{NO}_x$  排放主要來自點源。大型點污染源由於排放高度較高，因此在較遠處才產生主要影響；而線污染源和面源由地面附近排放，因此在排放源附近就產生立即的影響。

表 5.2 為依 USGS 資料所求出的台灣各縣市土地使用分類表，由此表可以看出土地使用主要以灌溉農田( $17816\text{km}^2$ , 49.4%)最大，其次為混合林( $6365\text{km}^2$ , 17.7%)旱作農田( $3435\text{km}^2$ , 9.5%)，其他還包括都市、草地、灌木、貧瘠地、苔原等。各類森林面積總共為  $9385\text{km}^2$ (26%)，約佔全島面積的四分之一。因為這是由人造衛星遙測資料分析求出，只可知道土地使用情形，並無法得知真正的作物或樹種。

如果將表 5.2 與謝等(1999)之報告比較可以發現兩者土地使用分類差異頗大，在謝等(1998)中指出水田面積為  $3258\text{km}^2$ ，旱田面積為  $2785\text{km}^2$ ，比 USGS 的推估值低出許多。至於森林面積則高達  $20000\text{km}^2$ ，幾佔全島面積一半以上，比 USGS 推估值高出許多。本研究中，因為時間的限制，所以沒有探討為何不同方法所求出的土地使用有如此大的差異，此一問題值得未來深入分析。

表 5.3 為各 AVHRR 土地使用分類之 VOC 和  $\text{NO}_x$  在標準狀況下之排放係數，左邊為 USGS 分類代碼和說明，右邊則為 BEIS2 中排放係數的值。

表 5.1 台灣地區各縣市 NOx 及 VOC 排放量統計表

縣市	NOx			VOC			
	面源	線源	點源	面源	線源	點源	生物源
台北市	3084	18006	607	42564	42621	1198	5050
高雄市	2023	12285	53888	25303	21378	17901	643
基隆市	240	4885	9099	5545	4651	560	3623
新竹市	195	2679	0	9265	3763	140	1089
台中市	866	7935	932	21712	18459	1376	1618
台南市	448	4649	403	13497	11110	1027	488
嘉義市	162	2807	0	4712	4594	177	792
台北縣	1791	22926	13960	88792	41885	2555	64839
桃園縣	2739	22773	22958	53970	20798	4395	21167
新竹縣	249	7639	13659	14655	4833	1711	49618
宜蘭縣	490	5056	12854	9177	5113	1070	80880
苗栗縣	388	9105	22317	12537	5231	5539	57892
台中縣	768	16562	42924	42918	19128	6327	67662
彰化縣	785	11998	7375	34363	12904	1456	6924
南投縣	401	4940	530	12148	5572	1505	162336
雲林縣	542	8215	2867	17645	7083	1888	10186
嘉義縣	626	6853	8041	16769	5846	4821	41955
台南縣	627	14864	13766	30896	13040	22461	23686
高雄縣	613	13180	48548	32638	13579	45816	87235
屏東縣	599	6834	758	16818	9937	2081	68550
澎湖縣	502	260	1225	1602	322	50	1969
花蓮縣	582	4245	8141	6935	4095	1664	186010
台東縣	916	2200	925	5539	2495	137	130062
總和	19634	211989	285776	520001	280310	125854	1074274

\* 排放量單位為公噸/年



表 5.2 依 USGS 資料所求出的台灣各縣市土地使用分類表

縣市	都市	旱作 農田 或牧	灌溉 農田 或牧	農田 草地 混合	農田 林地 混合	草地	灌木	大草 原	落葉 闊葉 林	常綠 闊葉 林	常綠 針葉 林	混合 林	水面	貧瘠 地	苔原 (林地)	苔原 (混合)	合計
台北市	19	3	122	24	0	15	42	5	0	0	0	20	9	14	0	1	274
高雄市	9	29	33	0	0	13	50	1	0	0	0	0	53	10	0	2	200
基隆市	0	3	98	11	1	4	1	12	0	0	0	0	13	0	0	0	143
新竹市	0	3	41	6	23	18	1	0	0	0	0	0	23	0	0	0	115
台中市	4	6	78	2	2	25	36	0	0	0	0	5	0	1	0	0	159
台南市	11	13	39	1	0	15	68	0	0	0	0	0	20	19	0	9	195
嘉義市	4	31	26	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
台北縣	0	34	1210	163	79	44	59	217	8	0	69	126	79	4	0	1	2093
桃園縣	0	32	706	127	58	43	28	56	92	0	6	54	24	0	0	0	1226
新竹縣	0	2	708	23	191	14	40	5	191	35	25	175	18	0	0	0	1427
宜蘭縣	0	187	472	43	6	114	10	416	7	7	158	733	78	1	14	0	2246
苗栗縣	0	10	641	16	386	21	58	0	185	153	12	308	40	0	0	0	1830
台中縣	0	81	1135	48	44	31	79	0	51	259	32	249	70	0	0	0	2079
彰化縣	0	68	813	57	14	30	7	0	0	1	0	17	116	0	0	0	1123
南投縣	0	656	1824	1	14	13	144	0	4	274	349	792	21	0	0	0	4092
雲林縣	0	163	1019	10	0	24	21	0	0	0	0	0	145	20	0	2	1404
嘉義縣	0	238	1523	1	0	11	26	0	0	23	2	6	94	40	0	1	1965
台南縣	3	323	1456	16	23	9	55	0	0	0	0	5	129	61	0	3	2083
高雄縣	4	278	2142	12	18	17	52	0	5	137	7	84	55	6	0	1	2818
屏東縣	6	728	1188	11	65	9	82	2	4	181	0	410	169	7	0	0	2862
澎湖縣	0	8	15	18	0	3	1	1	0	0	0	0	210	0	0	0	256
花蓮縣	0	182	979	25	95	135	146	67	44	64	267	2518	119	0	12	3	4656
台東縣	0	357	1548	79	147	39	17	110	14	51	132	1033	162	0	0	0	3689
合計	60	3435	17816	694	1166	647	1024	892	605	1185	1059	6535	1647	183	26	23	36997

表 5.3 各 AVHRR 土地使用分類之 VOC 和 NO<sub>x</sub> 在標準狀況下之排放係數

USGS分類		BEIS2						
代碼	說明	代碼	Isoprene	onoterpen	other VOC	NO	LAI	說明
1	都市	Uoth	11.2	28.1	16.9	11.6	0	BEIS other urban (assume 20% grass)
2	旱作農田或牧場	Pacp	55	79.8	47.9	35.3	0	Pasture cropland (AVHRR, Guen)
3	灌溉農田或牧場	Rice	102	255	153	0.2	0	Rice
4	混合農田或牧場	Gras	56.2	140.5	84.3	57.8	0	Grass
5	農田草地混合	Gras	56.2	140.5	84.3	57.8	0	Grass
6	農田林地混合	Scwd	2700	349	651	31.2	2	Scrub woodland (AVHRR, Guen)
7	草地	Gras	56.2	140.5	84.3	57.8	0	Grass
8	灌木	Scru	37.8	94.5	56.7	57.8	0	Scrub
9	草地灌木混合	Gras	56.2	140.5	84.3	57.8	0	Grass
10	大草原	Gras	56.2	140.5	84.3	57.8	0	Grass
11	落葉闊葉林	Shrf	10750	530	910	4.5	5	Southeast/Western Deciduous Forest
12	落葉針葉林	Conf	1550	1564	1036	4.5	6	Conifer forest (AVHRR, Guen)
13	常綠闊葉林	Harf	8730	436	882	4.5	5	Hardwood forest (AVHRR, Guen)
14	常綠針葉林	Wcnf	4270	1120	1320	4.5	5	W Coniferous Forest (AVHRR, Guen)
15	混合林	Smxfl	17000	1500	1250	4.5	5	SE Mixed forest (AVHRR, Guen)
16	水面	Water	0	0	0	0	0	Water
17	濕地(草地)	Cswt	1050	660	770	0.2	2	Herbaceous Wetlands (AVHRR, Guen)
18	濕地(林地)	Wetf	3820	923	1232	0.2	5	Wetland forest (AVHRR, Guen)
19	貧瘠地	Barr	0	0	0	0	0	Barren
20	苔原(草地)	Tund	2411.7	120.6	150.7	0.2	0	Tundra
21	苔原(林地)	Tund	2411.7	120.6	150.7	0.2	0	Tundra
22	苔原(混合)	Tund	2411.7	120.6	150.7	0.2	0	Tundra
23	苔原(裸露)	Tund	2411.7	120.6	150.7	0.2	0	Tundra
24	雪地	Snow	0	0	0	0	0	Snow

利用此種方法求出在標準狀況下，各縣市生物源 VOC 和  $\text{NO}_x$  排放量如表 5.4 所示。此表顯示台灣地區在標準狀況下 VOC 排放量為 170.5 公噸/時，單位面積排放量大約為  $4.736\text{kg km}^{-2}\text{hr}^{-1}$ ，考量台灣的地理環境和國外類似地區比較，此值相當合理。

本研究用此種方法推估出 1996 年 8 月 7 日至 10 日四天的生物源 VOC 排放量為 5364 公噸，10 月 6 日至 9 日四天的排放量為 3962 公噸，10 月 27 日至 30 日四天的排放量為 3950 公噸。因為時間的關係，本研究中並未求出氣候性的排放量，不過如用上述 12 天的排放量進行粗略地推估，台灣的排放量約為每年 40 萬公噸，此值低於中鼎的生物源排放量，與謝(1998)所求出之 414642 公噸/年接近。

圖 5.1 至圖 5.5 為本研究中所求出的各類型之污染源之臭氧前趨物質排放量分佈圖，這些圖上排放量皆為  $3\text{km} \times 3\text{km}$  方格的平均值。固定污染源  $\text{NO}_x$  主要由大點源排放，比較集中於數點。而移動污染源  $\text{NO}_x$  分佈則與公路密切相關。生物源之  $\text{NO}_x$  排放量較少，其分佈圖並未列出。

固定污染源之 VOC 排放大都為所謂的擴散源(diffuse sources)，分佈於人口集中的鄉鎮和都市，大型點源所佔比率較低。生物源則以山區排放量較大，平地因有許多農田、草地及鄉鎮，其排放量較少。

表 5.4 各縣市生物源 VOC 和 NO<sub>x</sub> 排放量

縣市	Isoprene	Monoterpenes	other VOC	Total
台北市	359294	72155	50372	481821
高雄市	12562	17915	10907	41384
基隆市	14416	29466	18121	62003
新竹市	67834	22188	23470	113492
台中市	101609	35875	24158	161642
台南市	29991	21051	13336	64378
嘉義市	4440	9311	5587	19338
台北縣	2889691	674622	533287	4097600
桃園縣	2176752	373705	327088	2877545
新竹縣	6032449	664030	694999	7391478
宜蘭縣	13412990	1503739	1273414	16190143
苗栗縣	9724084	949845	1060382	11734311
台中縣	7425411	879104	845656	9150171
彰化縣	427350	256448	166623	850421
南投縣	17655410	2238394	2024942	21918746
雲林縣	120431	279855	168073	568359
嘉義縣	483835	432889	277482	1194206
台南縣	324130	421739	265192	1011061
高雄縣	2996076	780120	597996	4374192
屏東縣	8934249	1090764	941338	10966351
澎湖縣	3244	7649	4590	15483
花蓮縣	45398630	4472087	3846453	53717170
台東縣	19308260	2235168	1893038	23436466
合計	137903138	17468119	15066504	170437761

# Stationary NOX Emission Rate

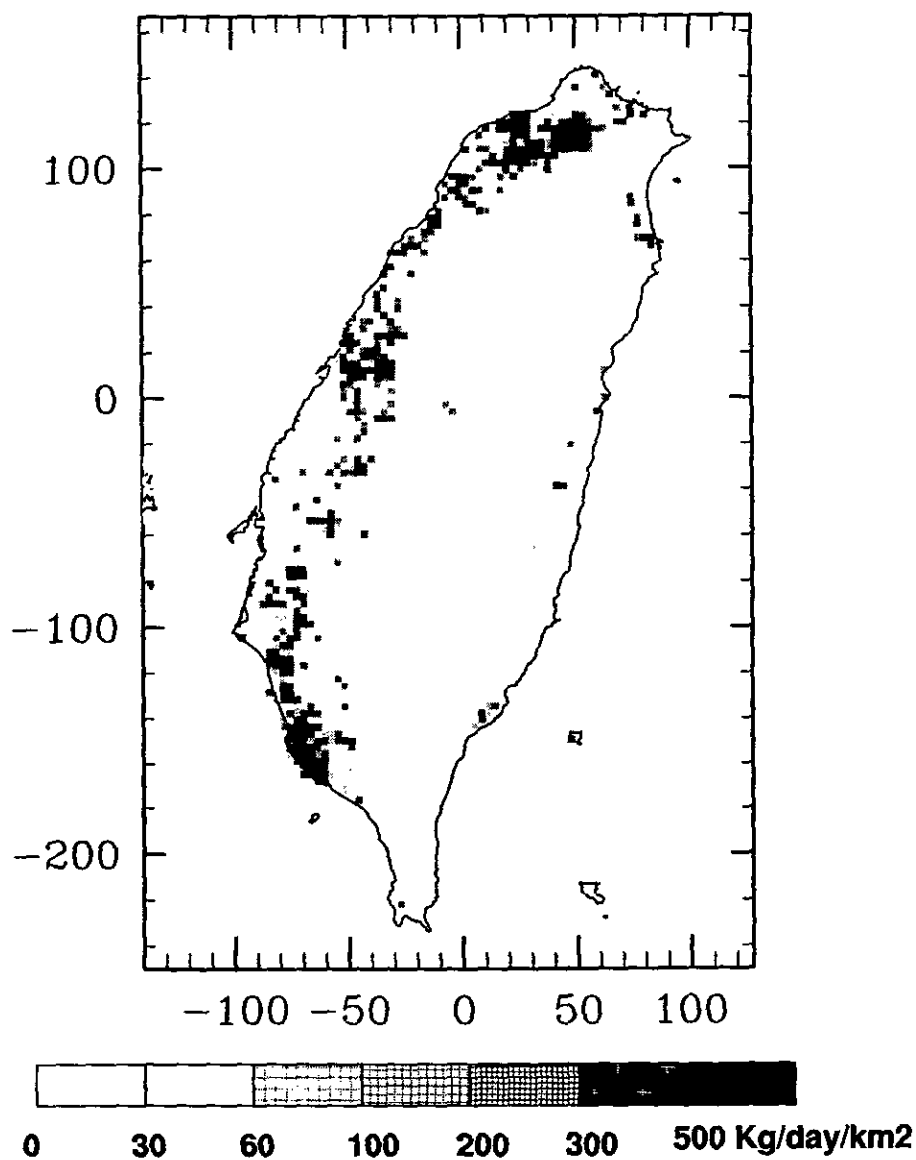


圖 5.1 固定污染源 NOx 排放量分佈圖

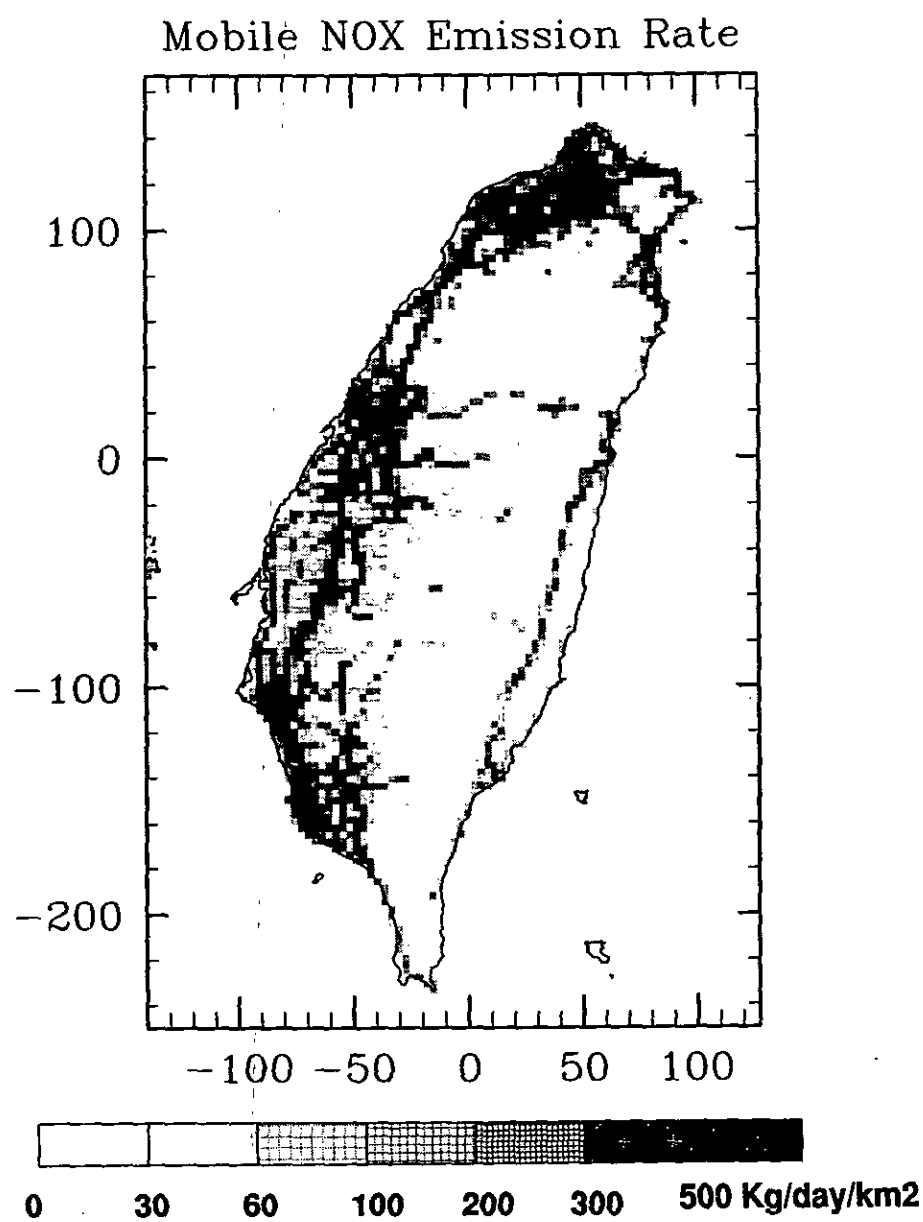


圖 5.2 移動污染源 NOx 排放量分佈圖

# Stationary VOC Emission Rate

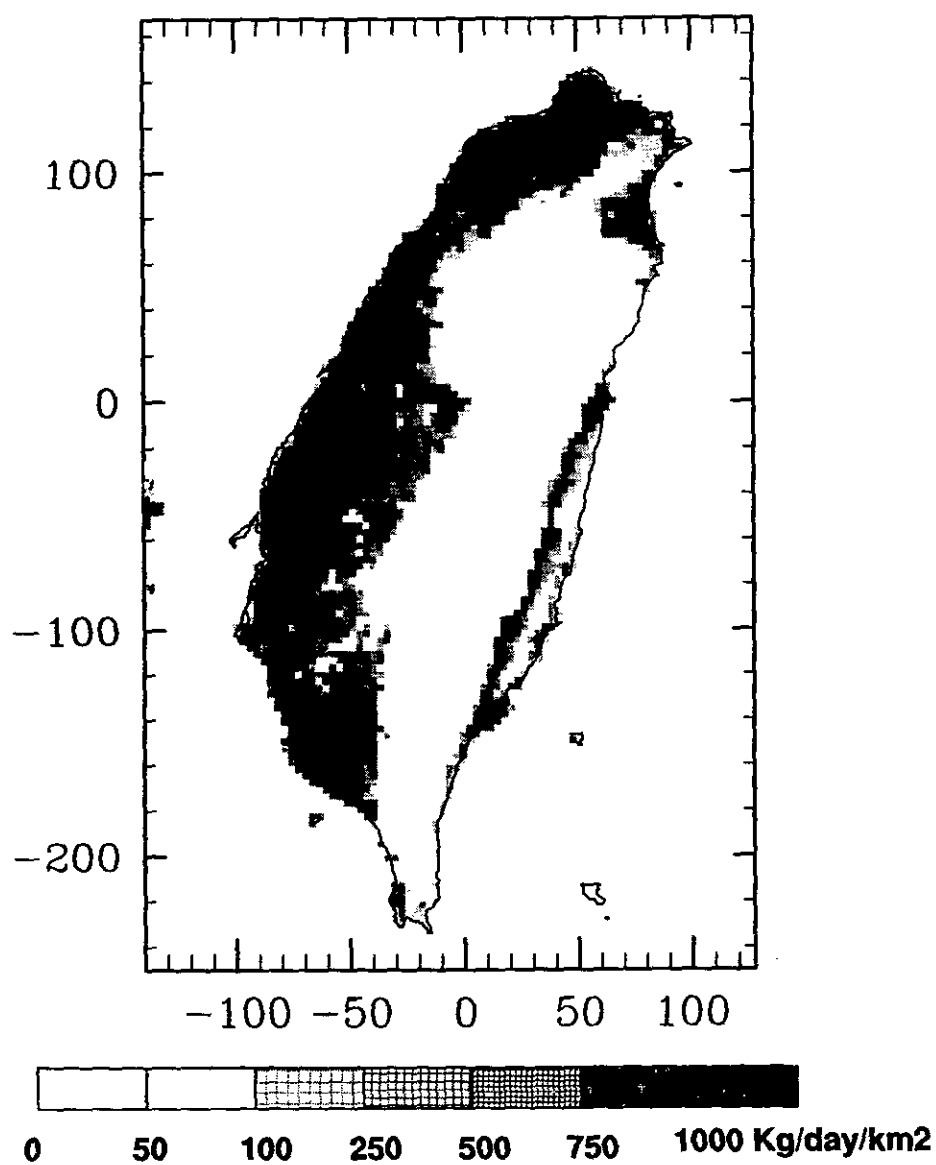


圖 5.3 固定污染源 VOC 排放量分佈圖

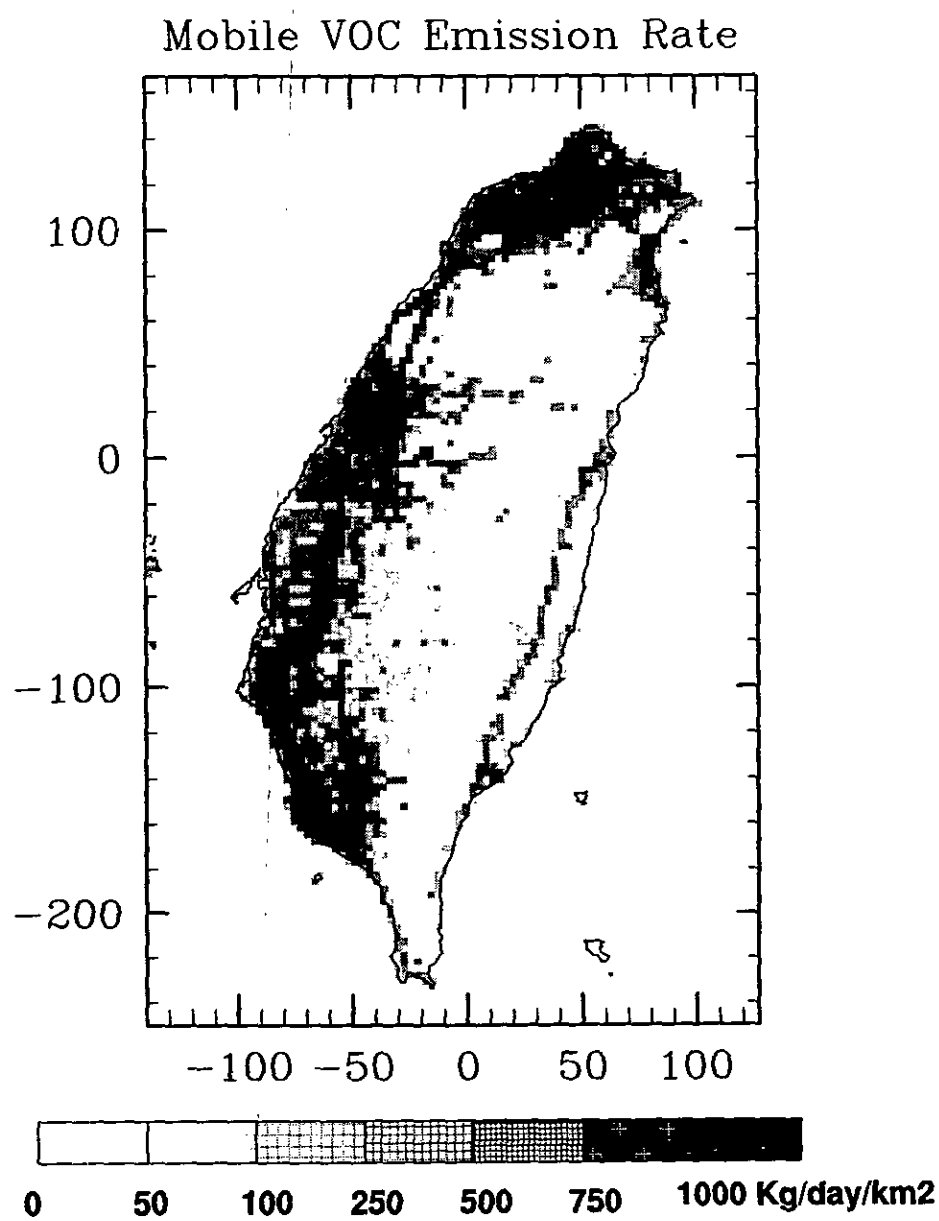


圖 5.4 移動污染源 VOC 排放量分佈圖



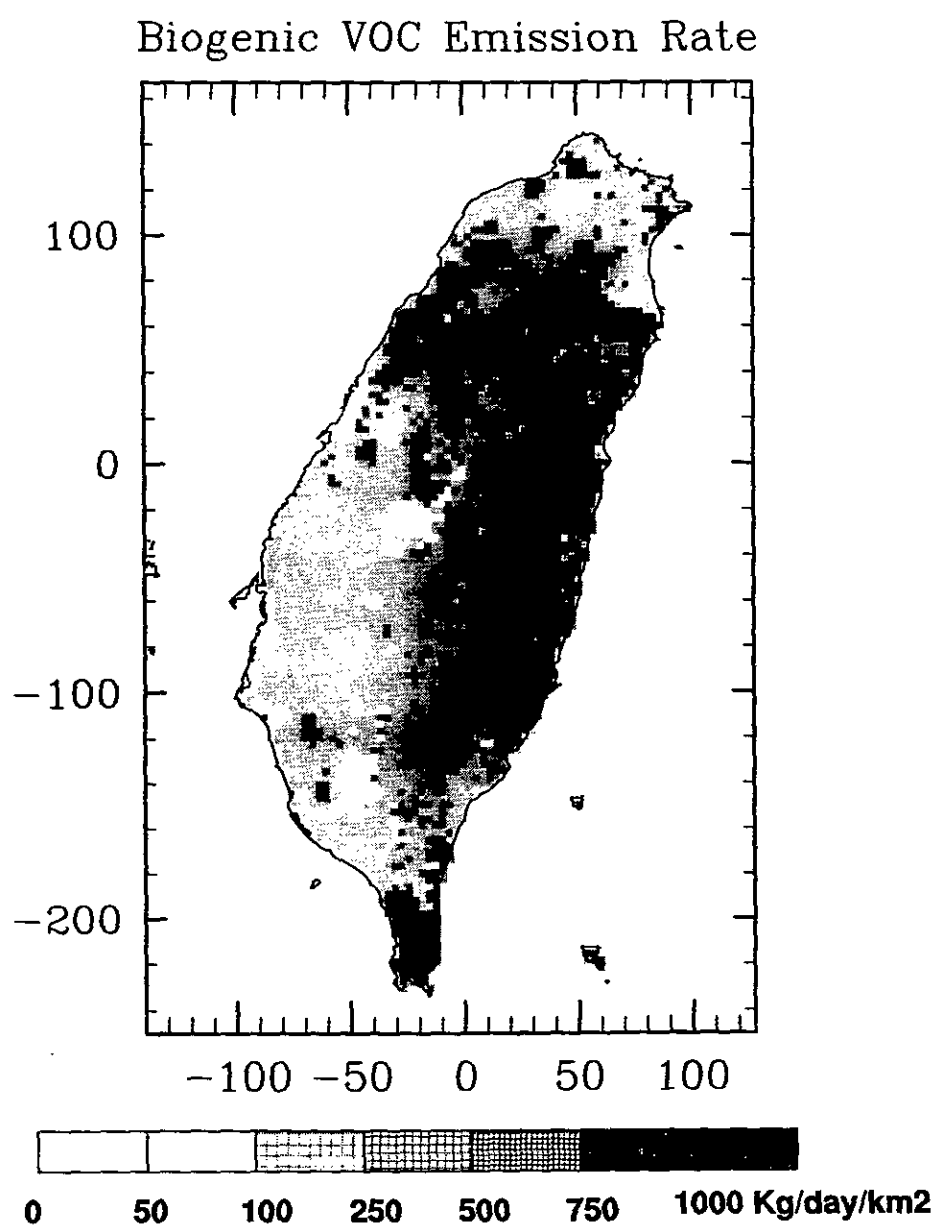


圖 5.5 生物源 VOC 排放量分佈圖

## 第六章 結果討論

### 6.1 本章說明

為了解在不同天氣型態下污染前驅物質排放對臭氧形成的影響，在本計畫中，於南北兩地，各選定兩時段，利用 CAMx 模式進行光化學污染模擬，並利用 OSAT 技術，分析不同來源的前趨物質對臭氧濃度的影響，其結果將於本章中加以分析討論。

要探討污染前驅物質的影響，進而擬定可靠的管制措施，必須先確定模式模擬的正確性。然而模式的結果是否正確與其輸入資料息息相關，光化學模式所須輸入資料很多，又很複雜，在此一研究中，我們參考國內外的文獻，儘可能輸入正確的資料，希望能得到正確的模擬結果；然而還是有些模擬結果與監測值比較時並不盡理想，尤其南部地區兩案例中臭氧濃度皆嚴重低估。在此種情況下，為使模擬結果與監測值接近，我們對人為 VOC 的排放量加以放大，以改善模擬結果。在解讀我們的模擬結果時，必須要了解此一缺失，當然我們希望能就此儘快加以改善。

臭氧前趨物質(VOC 及  $\text{NO}_x$ )對臭氧生成的影響分為兩個部份來討論；第一部份我們將臭氧的成因分為：(1)生物源  $\text{NO}_x$  控制，(2)生物源 VOC 控制，(3)移動源  $\text{NO}_x$  控制，(4)移動源 VOC 控制，(5)固定源  $\text{NO}_x$  控制，(6)固定源 VOC 控制，以探討不同型態的排放源對逐時臭氧濃度的貢獻值。第二部份則探討各縣市污染源對各受點臭氧的影響。在 CAMx 中只能在粗網格(在此一研究為  $12 \times 12 \text{ Km}^2$ )中定義各縣市的位置，所以縣市污染源的劃分較為粗糙。此外利用 OSAT 所求出的各污染來源對臭氧之貢獻量，只可視為近似值，可作為擬定管制策略之參考，在擬定策略時還須重新執行光化學模式，這些是解讀結果時要注意之處。

所模擬的四個案例各有不同的結果和特點，在本章中將就四個案例分節加以討論。

## 6.2 北部地區案例一(1996 年 8 月 7 日至 8 月 11 日)

此一案例電腦模擬由 8 月 7 日 00Z(當地時間上午 8 時)開始進行，共模擬四天，所求出的地面濃度分佈如圖 6.1 至圖 6.4 所示。每天顯示 04Z, 06Z, 08Z, 10Z(即 12, 14, 16, 18 時)四個時段地面濃度分佈。

模擬由 00Z(上午八時)開始，進行模擬初期無論是污染物濃度分佈或風場均受到初始條的影響，含有較大的誤差。初始的風場顯示台灣北部地區吹南風(見圖 4.17)，因此污染物吹向東北邊，午後在基隆、萬里一帶產生相當高的臭氧濃度，甚至到了傍晚金山附近海面臭氧仍高達 140ppb。如果檢視空氣品質監測資料(見圖 6.5 至圖 6.7)，即可發現此一模擬與真正情況不同，當日基隆、萬里監測濃度並不特別高，此一結果並不意外，通常第一日之結果往往沒法正確。

第二天上午此一區域為偏西之南風，台北地區所排放之污染物往東輸送，午後到達基隆附近，再隨偏南氣流進入宜蘭。CAMx 模擬結果則顯示台北附近並無高臭氧濃度產生，只有在宜蘭縣頭城附近臭氧濃度較高，然其值亦僅 80ppb。不過空氣品質監測資料，卻顯示新店、土城、板橋、新莊、士林、中山、萬華等地，臭氧濃度均高於 100ppb。計算值與監測值比較，顯然低估許多。我們發現這些產生高臭氧的測站大都位於市區附近，我們推測當天風速較低，也許因為此原因，所以風場的預測較為困難，以致空間濃度分佈產生偏差，影響計算結果。

第三天之臭氧濃度仍以宜蘭縣頭城附近臭氧濃度最高，其值約 100ppb，台北附近以南邊新店、土城一帶臭氧濃度較高，計算值約在 80ppb 左右。此日之模擬結果與監測值接近，結果尚稱合理。

第四天風向與前幾天有很大不同，上午風速很低，為產生高臭氧事件的主因。午後有明顯的海風產生，原先累積在台北盆地的污染物被吹往桃園附近，在桃園縣產生較高之臭氧濃度其值達 100ppb 以上，當日空氣品質監測站在許多測站均有高臭氧濃度產生，與計算值接近。

由上面的分析可以看出風場對污染物的分佈有重要的影響，在此一案例中風場以 RAMS3b 計算，且地面使用資料較為粗糙，土壤含水量沒有調校，因此風場之計算值較不理想，可能影響臭氧濃度的計算值。

Concentration Field ( 1996220 )

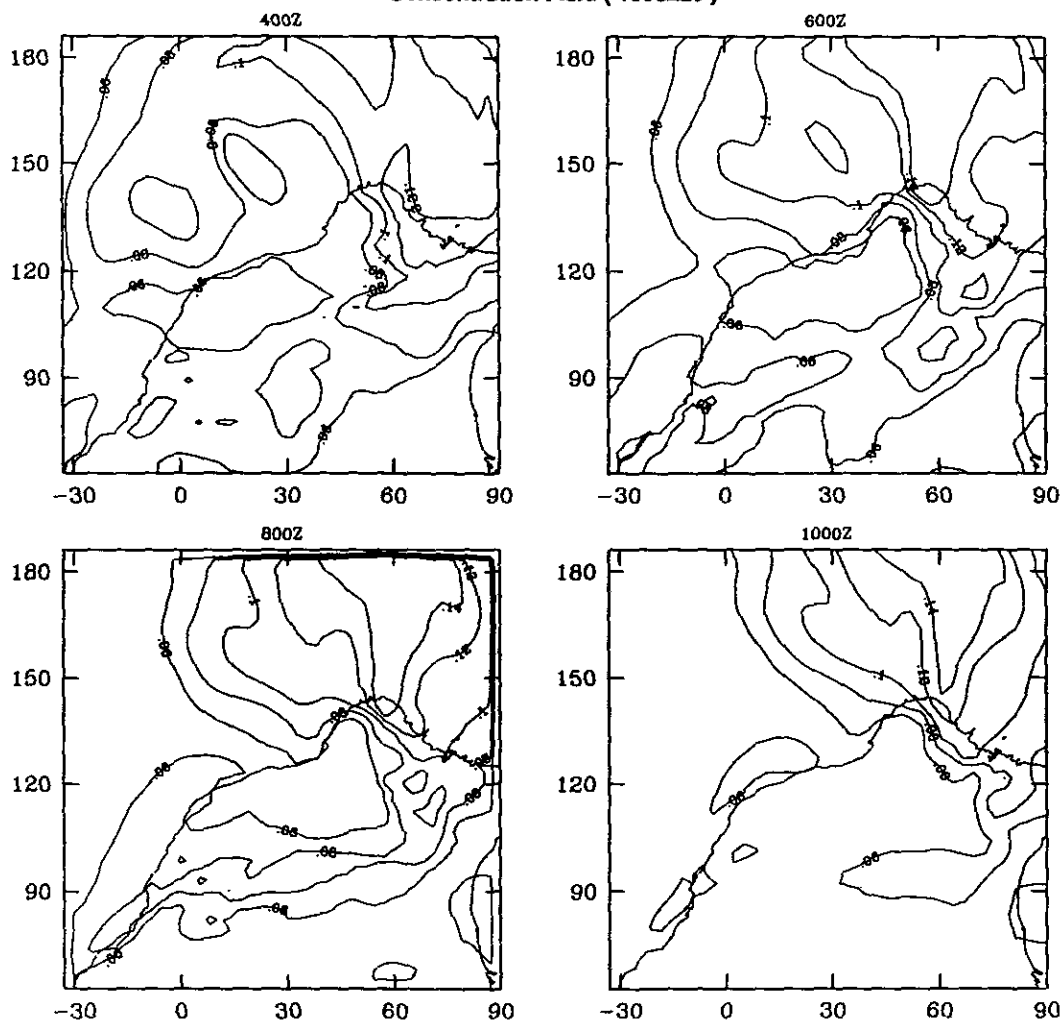


圖 6.1 1996 年 8 月 7 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

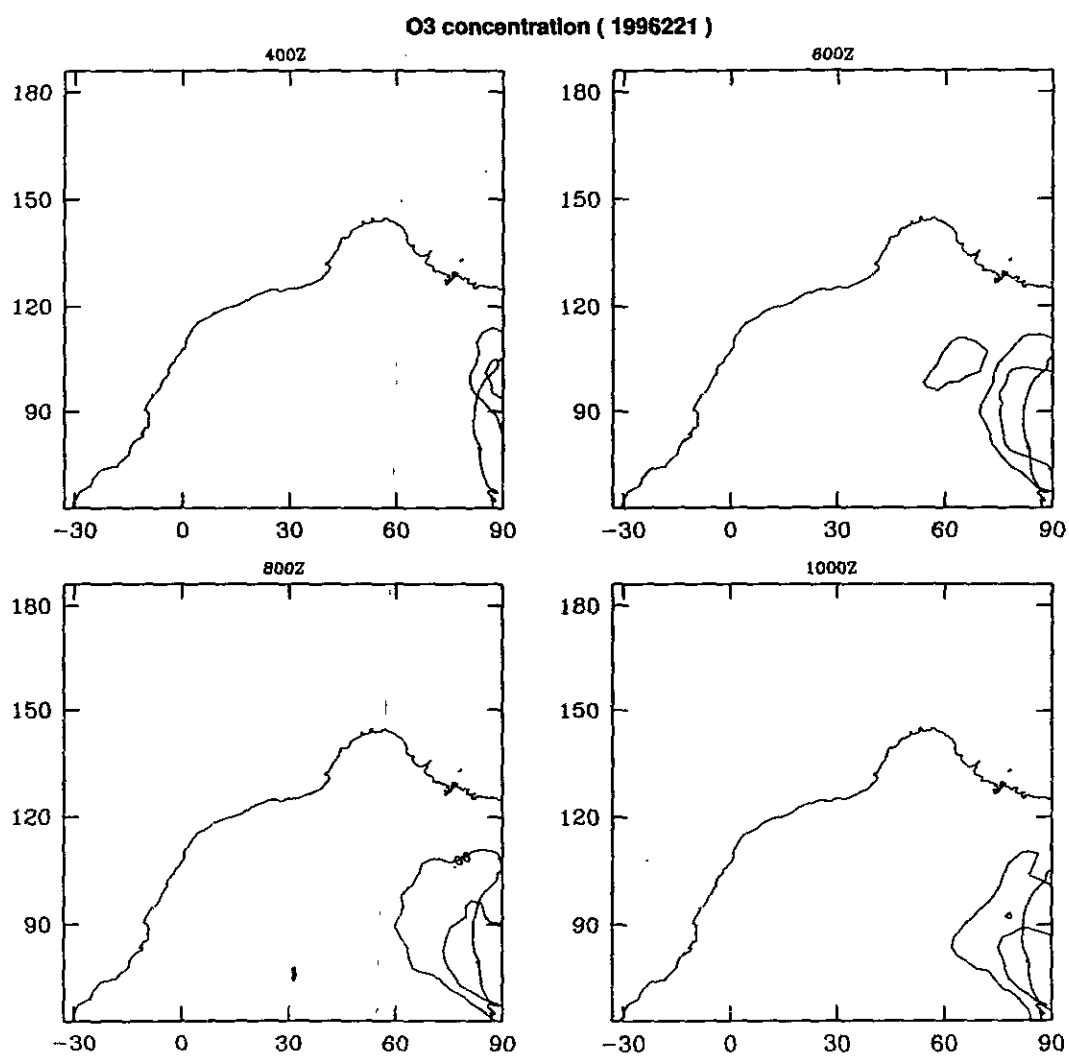


圖 6.2 1996 年 8 月 8 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

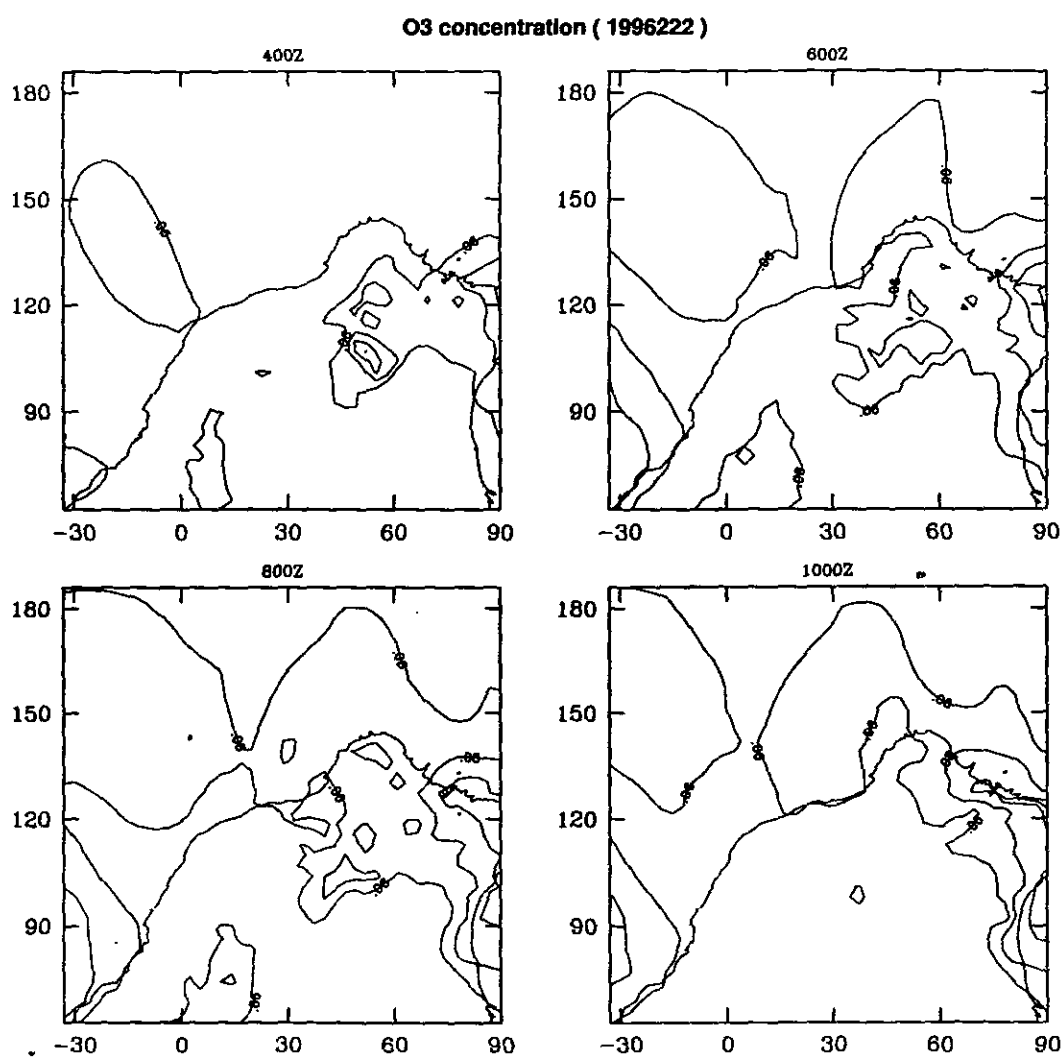


圖 6.3 1996 年 8 月 9 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

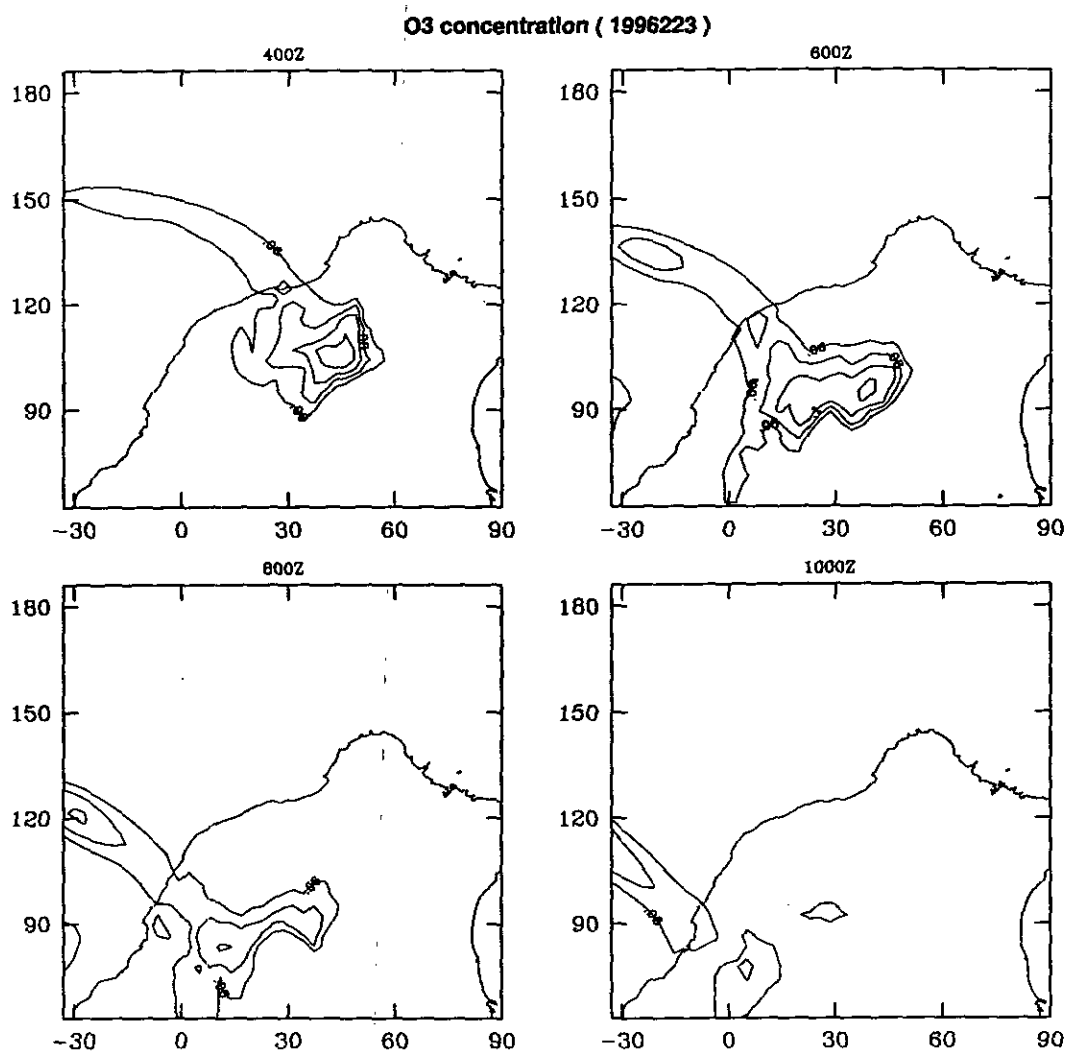


圖 6.4 1996 年 8 月 10 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

在此一研究中，我們並未近行量化的模式驗證，不過模式的結果表現仍可由地面臭氧濃度之計算值與觀測值進行時序列的比較而得知，圖 6.5 至圖 6.7 為北部地區案例一的比較結果。事實上，將模擬結果和監測資料進行時間與空間皆配對(paired)的比較，已是對模式效能的一個嚴苛的考驗。

由圖上可以看出，第二天和第四天臭氧濃度之觀測值較高，然而模擬結果則僅有第四天濃度較高，如果以第四天的模擬來看，此一模式的結果與觀測值非常吻合，不但時空的分佈正確外，在尖峰濃度也都能正確地加以推估，在尖峰濃度模式所求出的誤差小於 10%。第二天的模擬結果較不理想，雖然在整體的趨勢及平均濃度的表現尚稱合理，然而在一些高濃度的測站(如：士林、中山、板橋、新店)，則明顯低估。

由以上的討論，可以看出模式的表現確實仍有相當大的改變空間，但其結果相當合理，因此我們進一步對高臭氧的成因加以分析。

圖 6.8 至圖 6.10 為北部地區案例一臭氧成因的分析，圖上所示為特定點上逐時臭氧濃度及其來源分析，由這些圖上我們可以發現下列現象：

1. 模擬開始後數個小時受到初始條件(I.C.)的影響極大，隨著模擬時間的增加，初始條件對模擬結果的影響逐漸減小。由於初始條件含有相當大的不確定性，因此第一天的模擬結果可能有極大的誤差存在。
2. 在光化學模擬時，常取較大的模擬區域，以避免邊界的不確定性對模擬結果產生影響。此一研究雖然使用巢狀網格來加大模擬區域，且邊界設於海面，以減少不確定性，即使如此，邊界條件對模擬結果仍有影響，還好邊界條件的重要性隨尖峰濃度增加而減少。
3. 生物源和固定污染源對臭氧的產生之影響主要為 VOC 控制，但移動污染源部份則較分歧，VOC 和  $\text{NO}_x$  之排放皆會影響臭氧的產生，至於其重要性則各站不同。
4. 在高臭氧產生的期間，都市地區固定污染源和移動污染源的影響大約相同，但生物源的影響略小。在較偏遠地區生物源之影響較大，但一般而言，仍小於人為污染源。
5. 由模擬結果看來要控制台北地區的光化學污染應減少固定污染源 VOC 的排放，至於移動污染源則最好 VOC 和  $\text{NO}_x$  之排放量皆加以削減。



# O<sub>3</sub> concentration

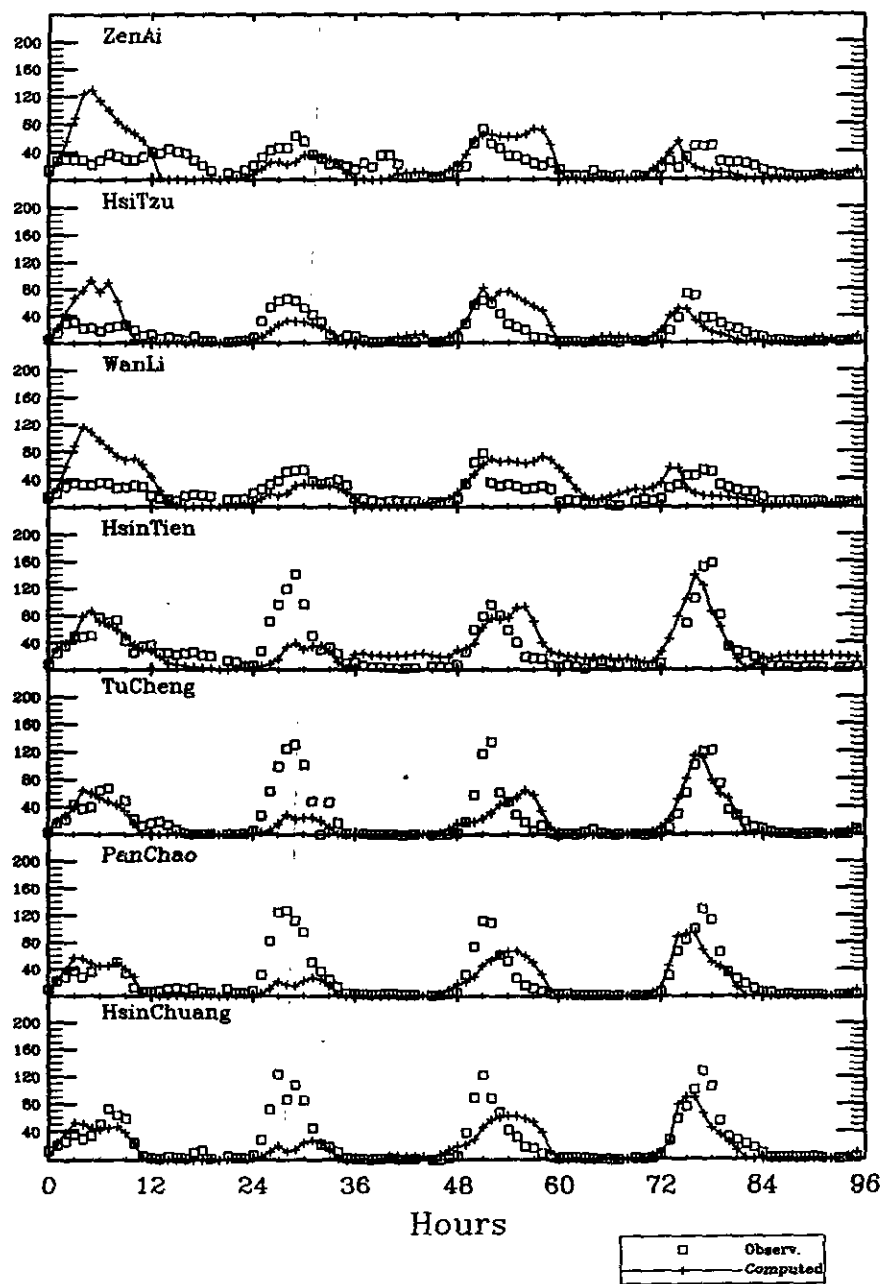


圖 6.5 北部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)

# O<sub>3</sub> concentration

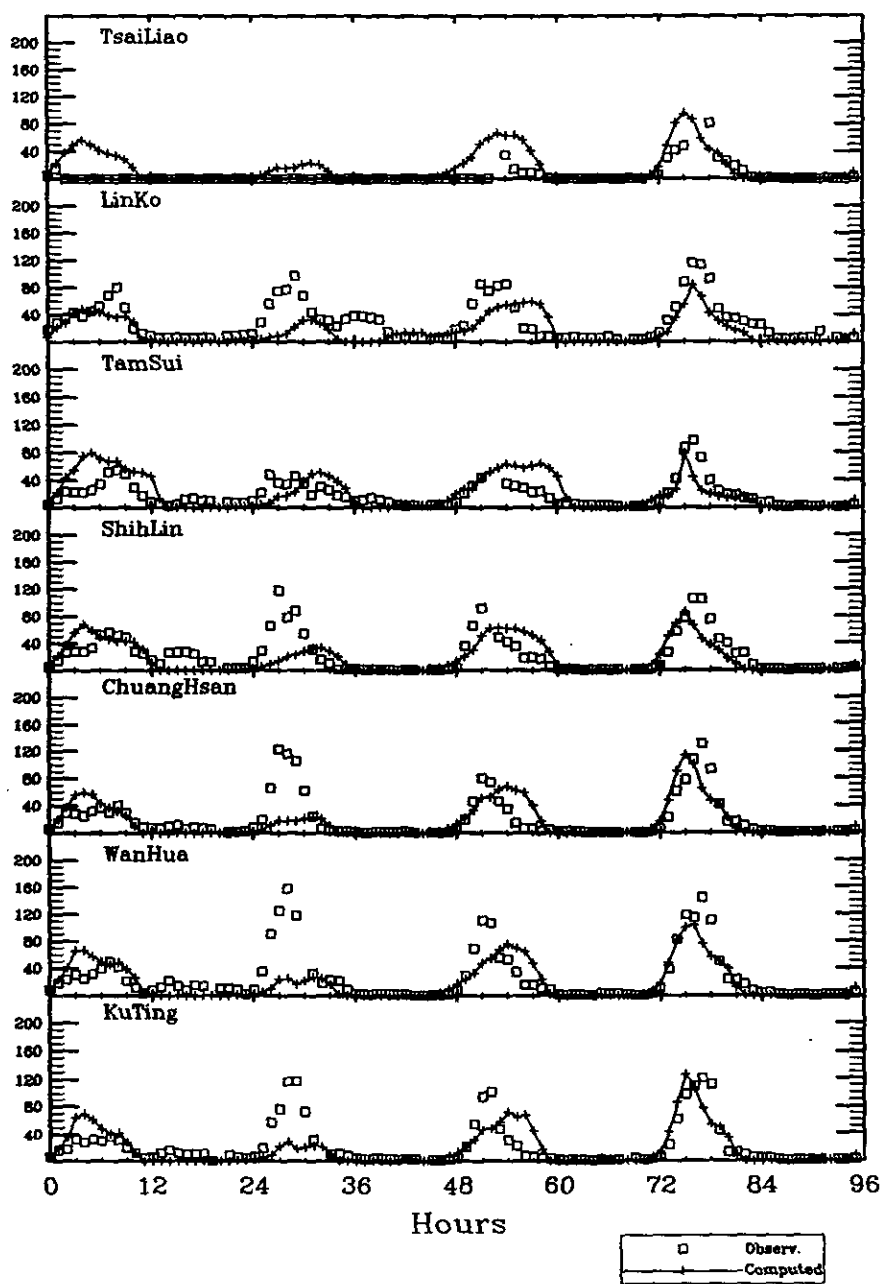


圖 6.6 北部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)

# O<sub>3</sub> concentration

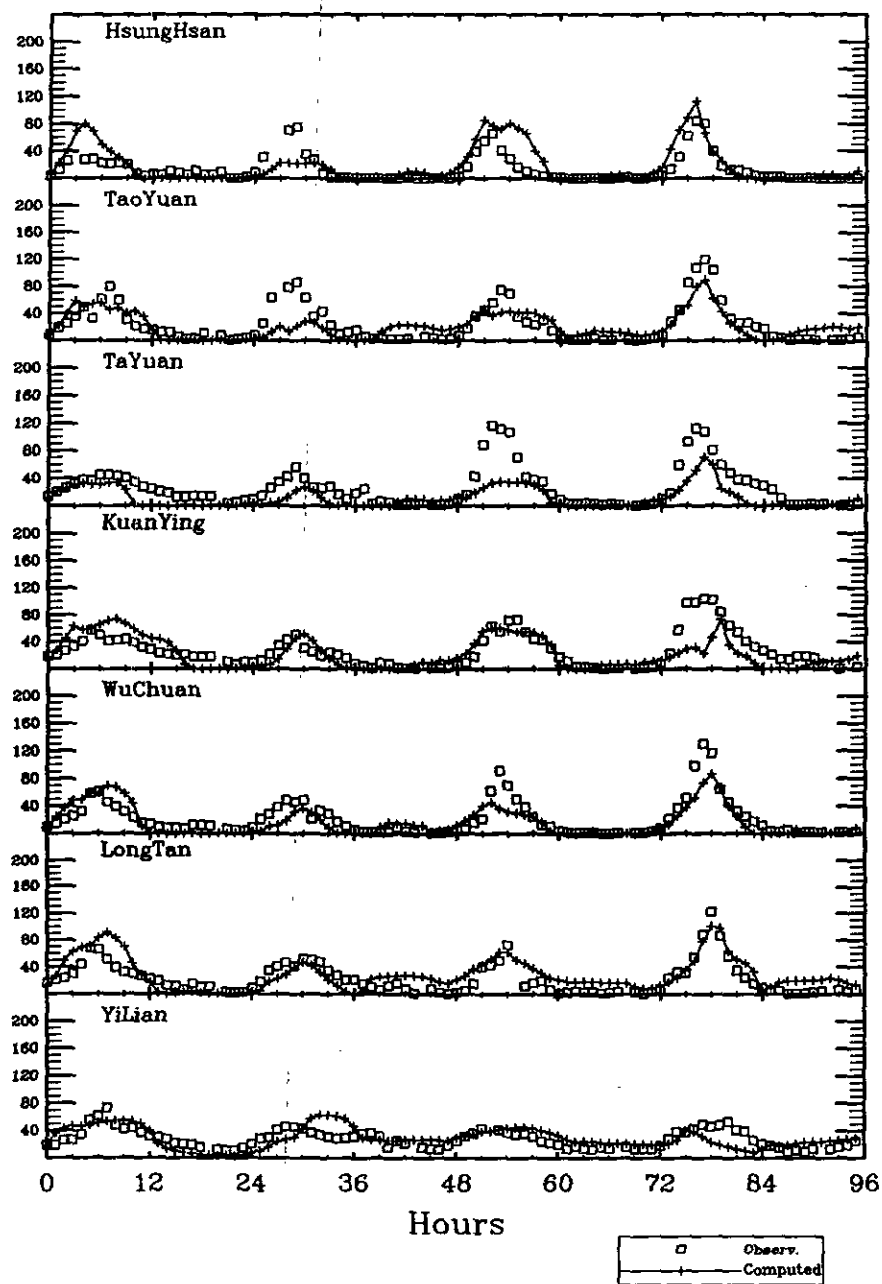


圖 6.7 北部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(三)

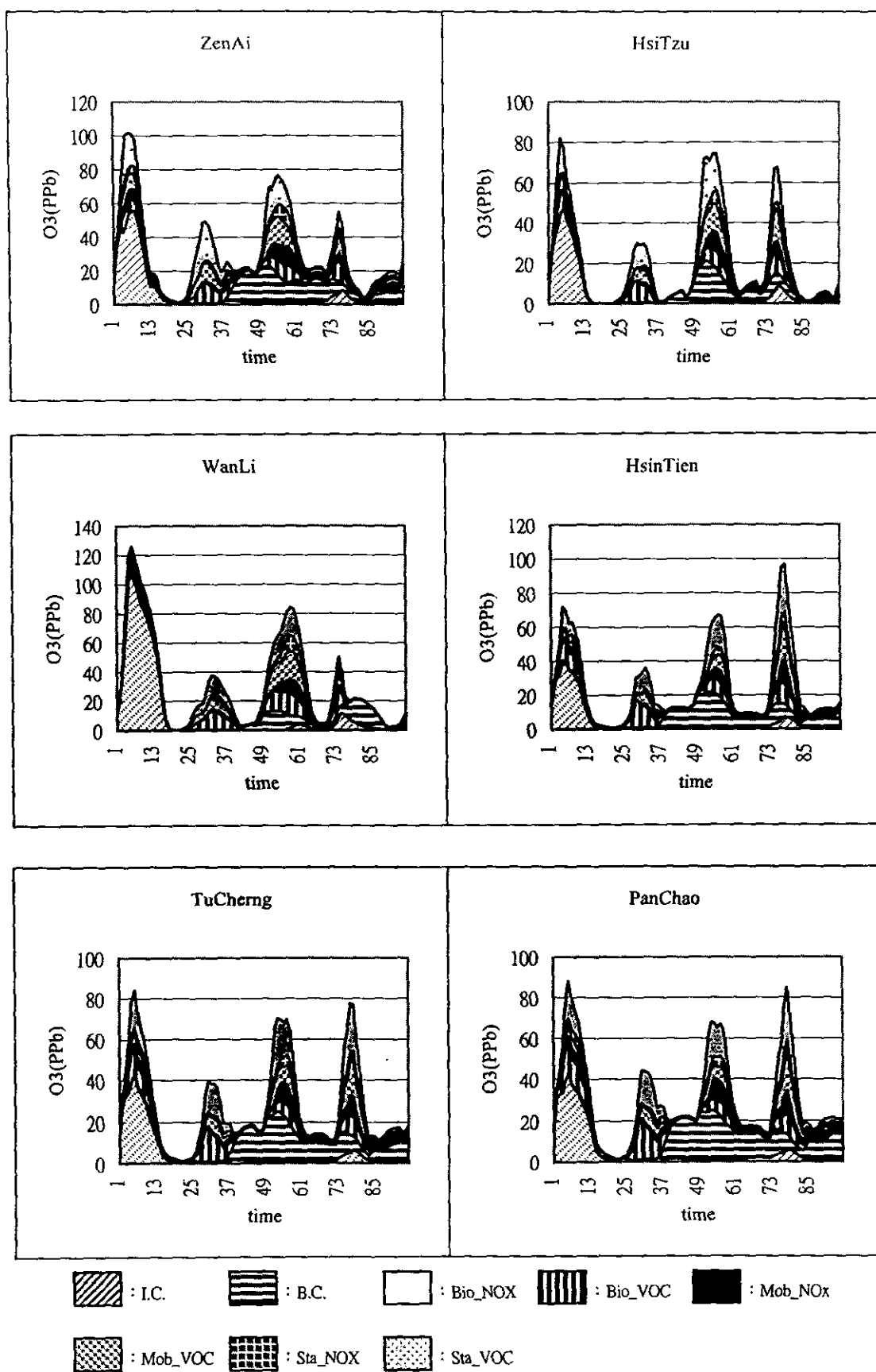


圖 6.8 北部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

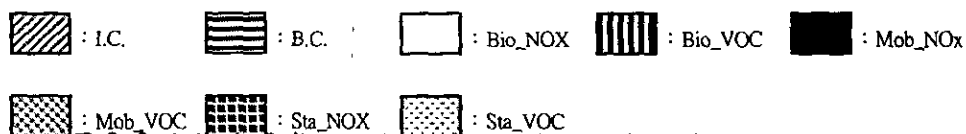
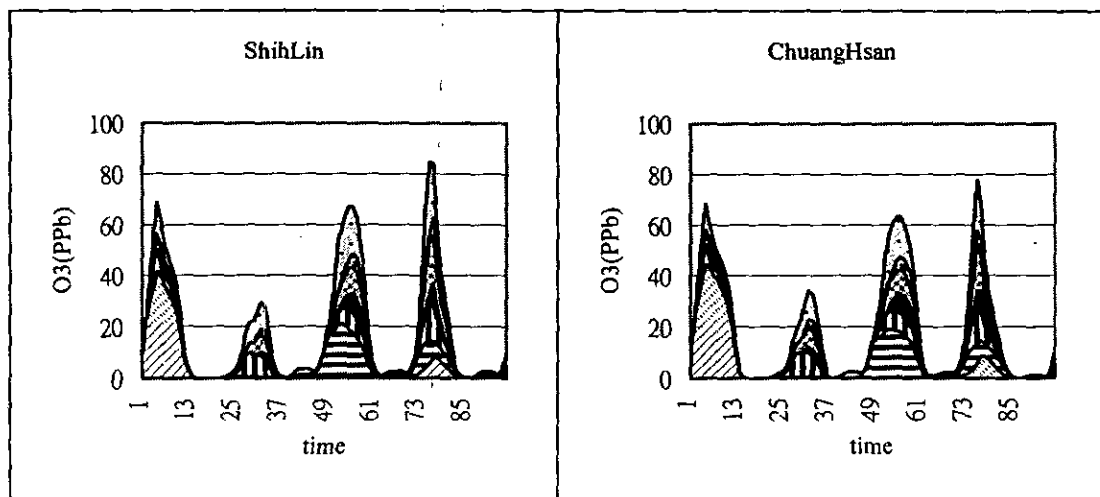
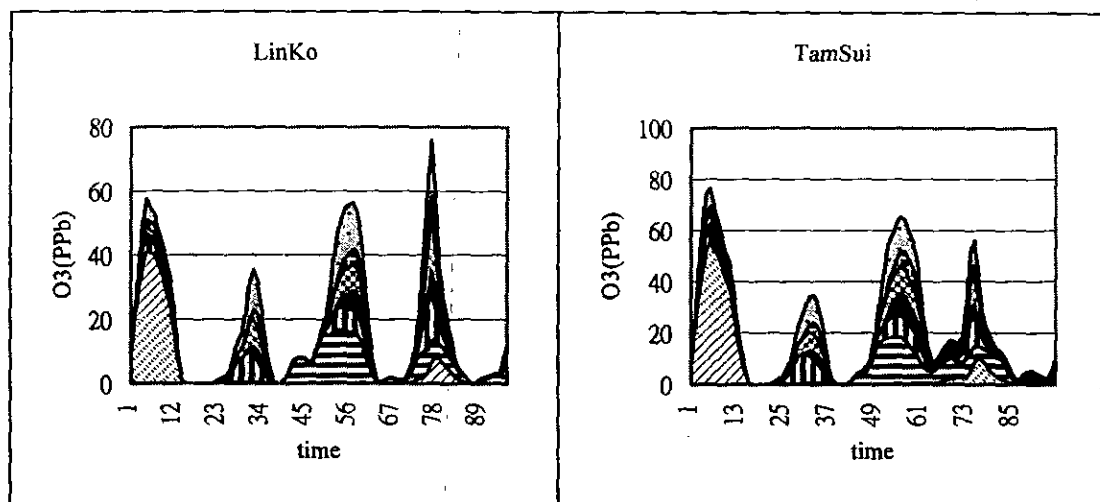
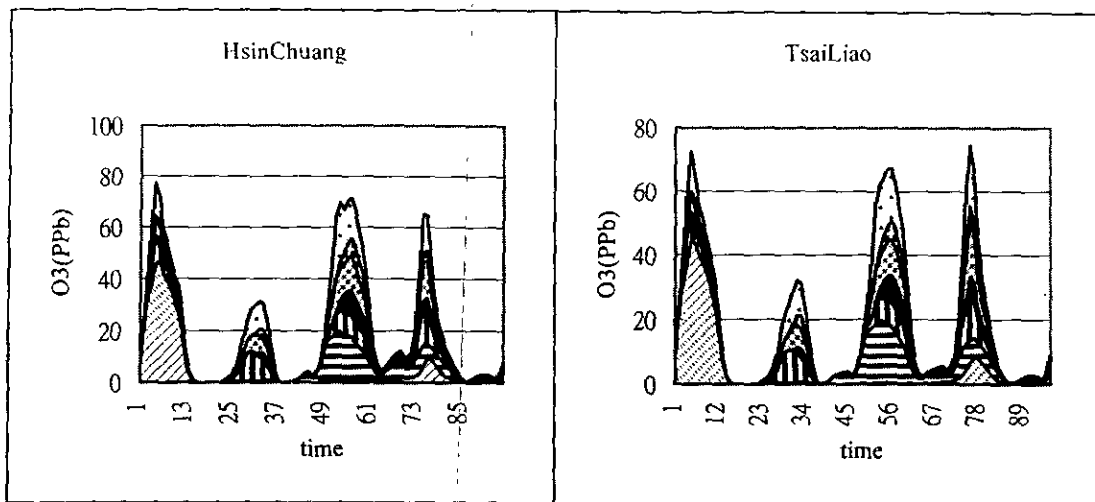


圖 6.9 北部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)

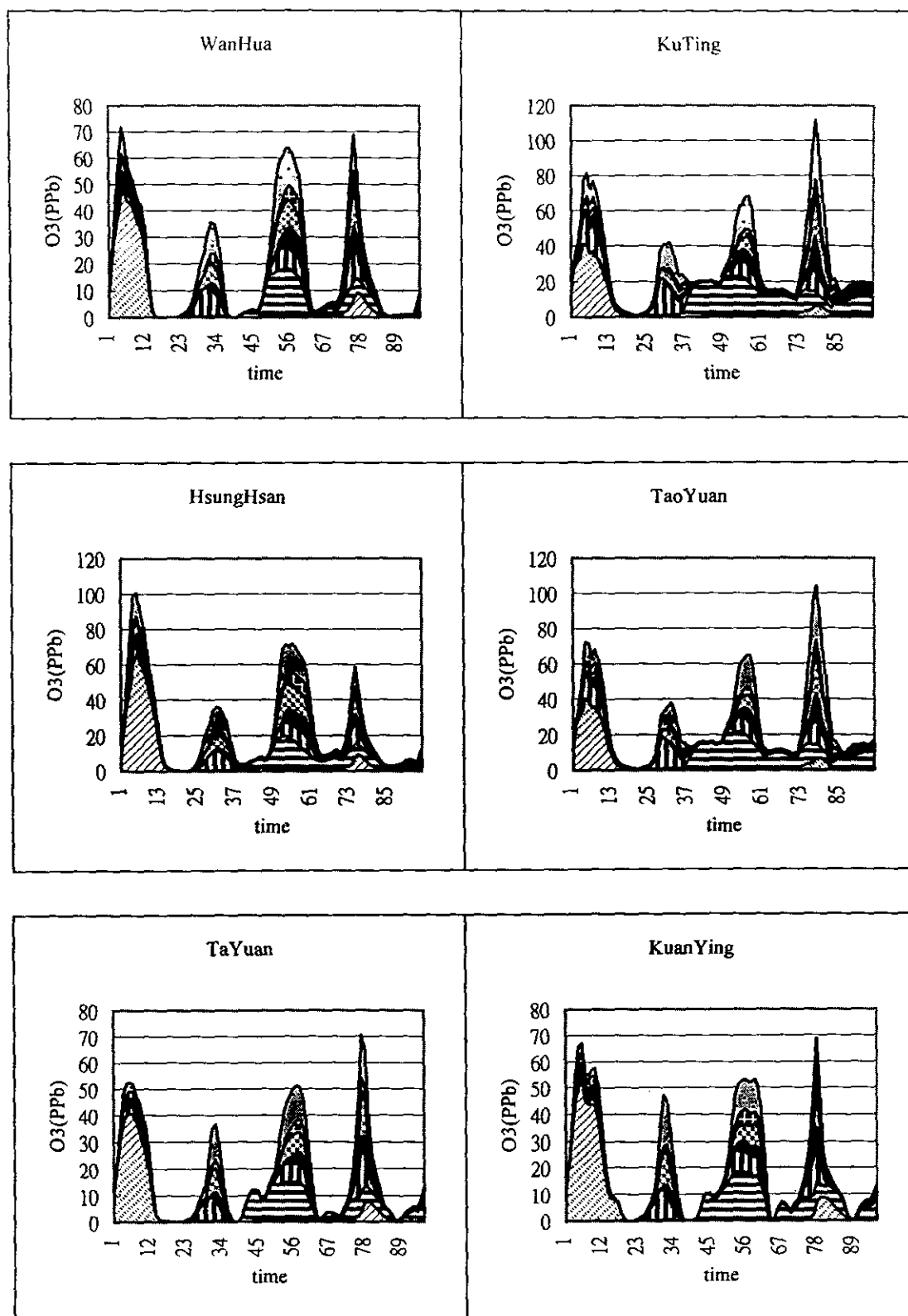


圖 6.10 北部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

圖 6.11 至圖 6.13 為北部地區案例一中不同縣市的排放源對臭氧的產生的影響，基本上風向改變時，污染物的來源就會有很大的變化，因此除非進行長期的模擬，否則很難決定某一縣市對其他縣市的長期貢獻量有多少。但我們仍可就產生高臭氧的個案，推估各縣市的貢獻量，以作為減量的依據。

在本案例中，吹偏南風，台北地區臭氧的形成除受到桃園縣及台北縣市污染源影響外，其他縣市所排放的先趨物質也有相當比率的影响。以第四天為例，在產生高臭氧的測站中(如新店、板橋、土城、古亭等)，幾乎有超過一半的臭氧是由非北桃地區污染源所貢獻的，當然我們對此仍須更仔細的評估，但由此計算結果看來，許多光化學污染是因為區域外的污染源所貢獻，因此在擬定管制措施時必須考慮跨空品區的傳輸。

因為光化學反應是非線性的，因此空品區外的貢獻量是否會因減少空品區內的污染物排放而減少，或與空品區內的污染物排放無關，此一問題可能也須視個案而定。

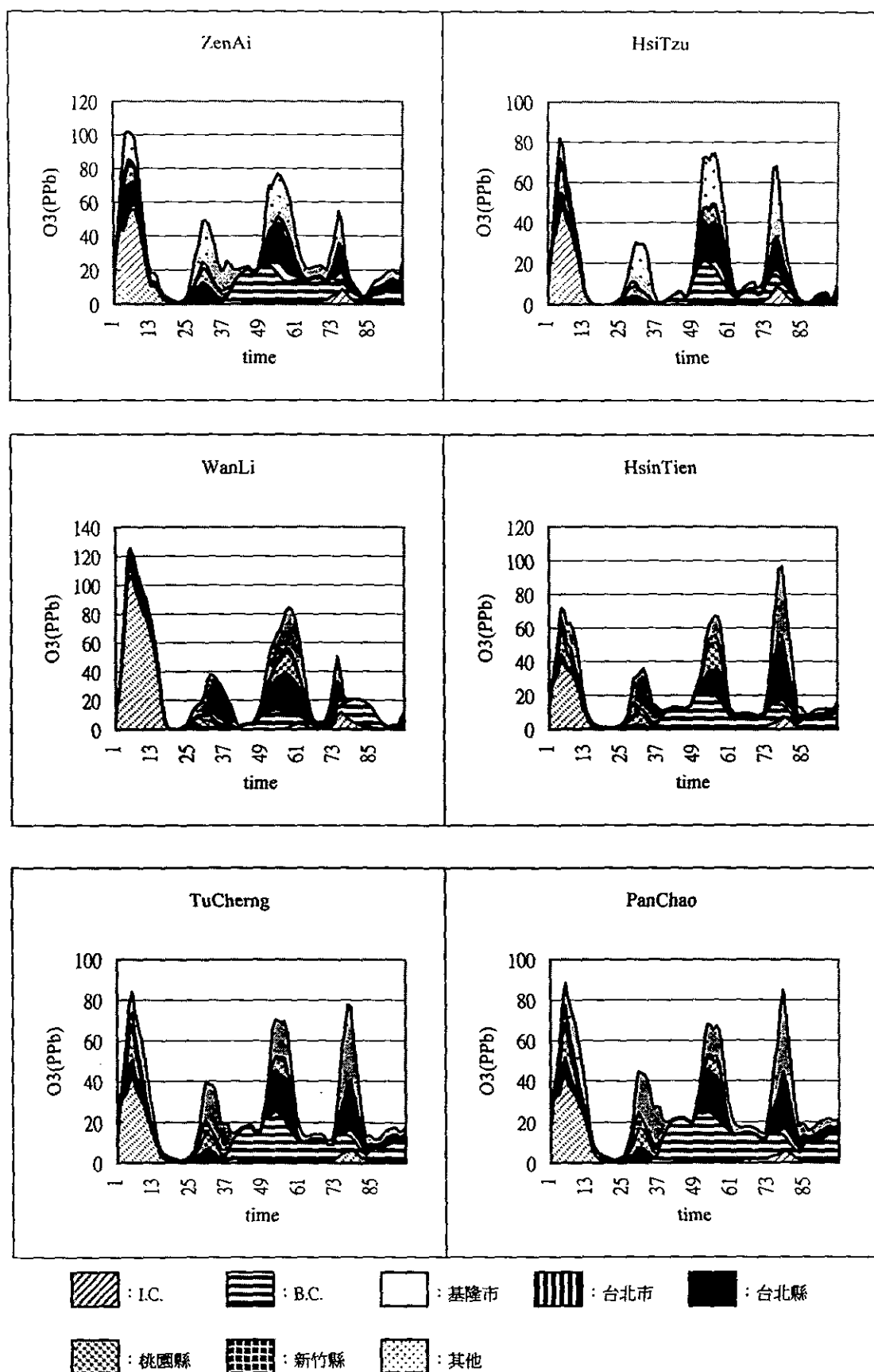


圖 6.11 北部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)



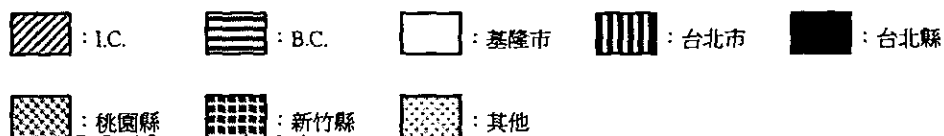
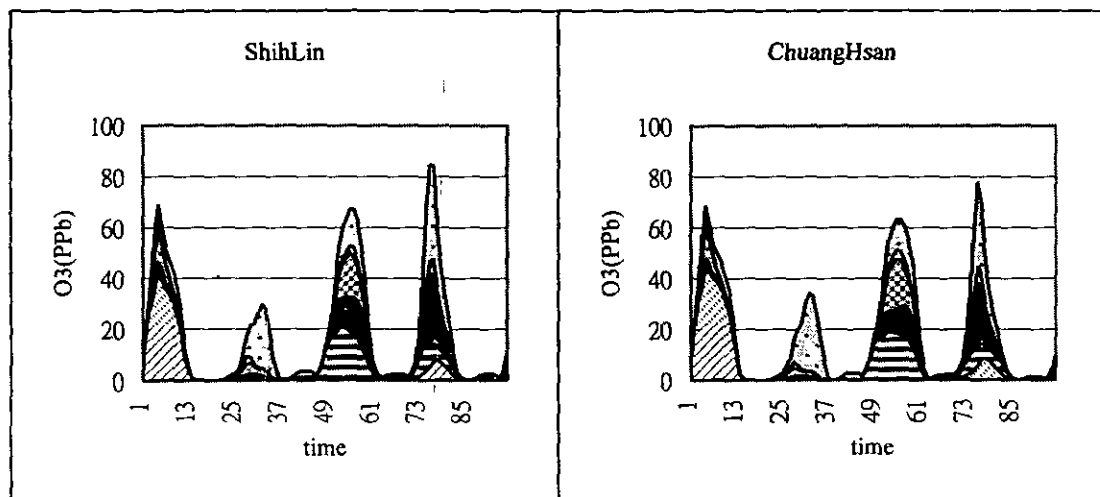
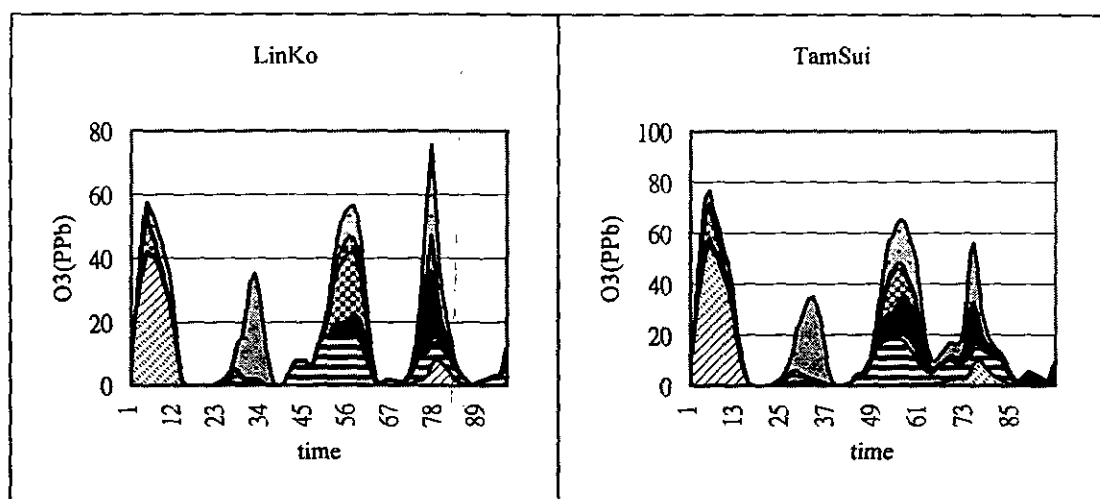
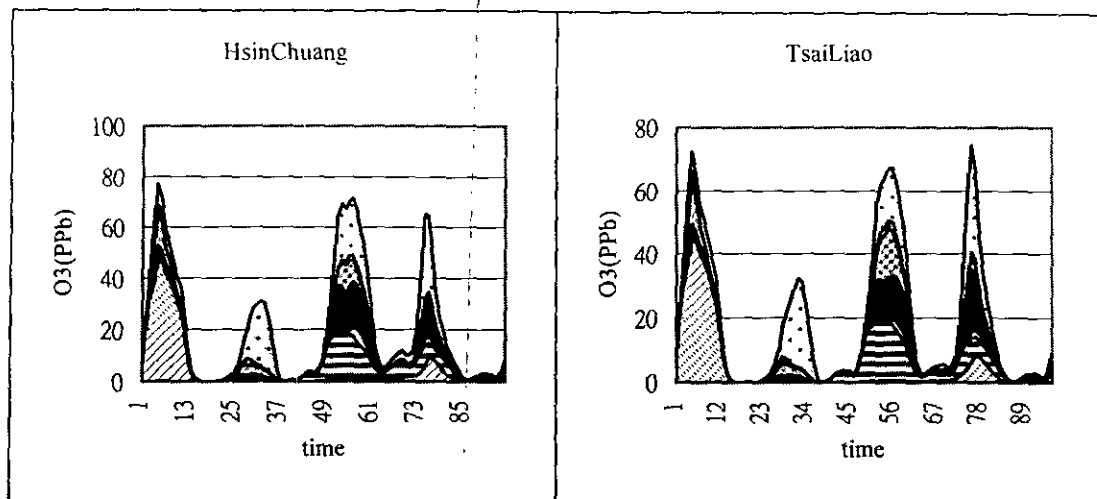


圖 6.12 北部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)

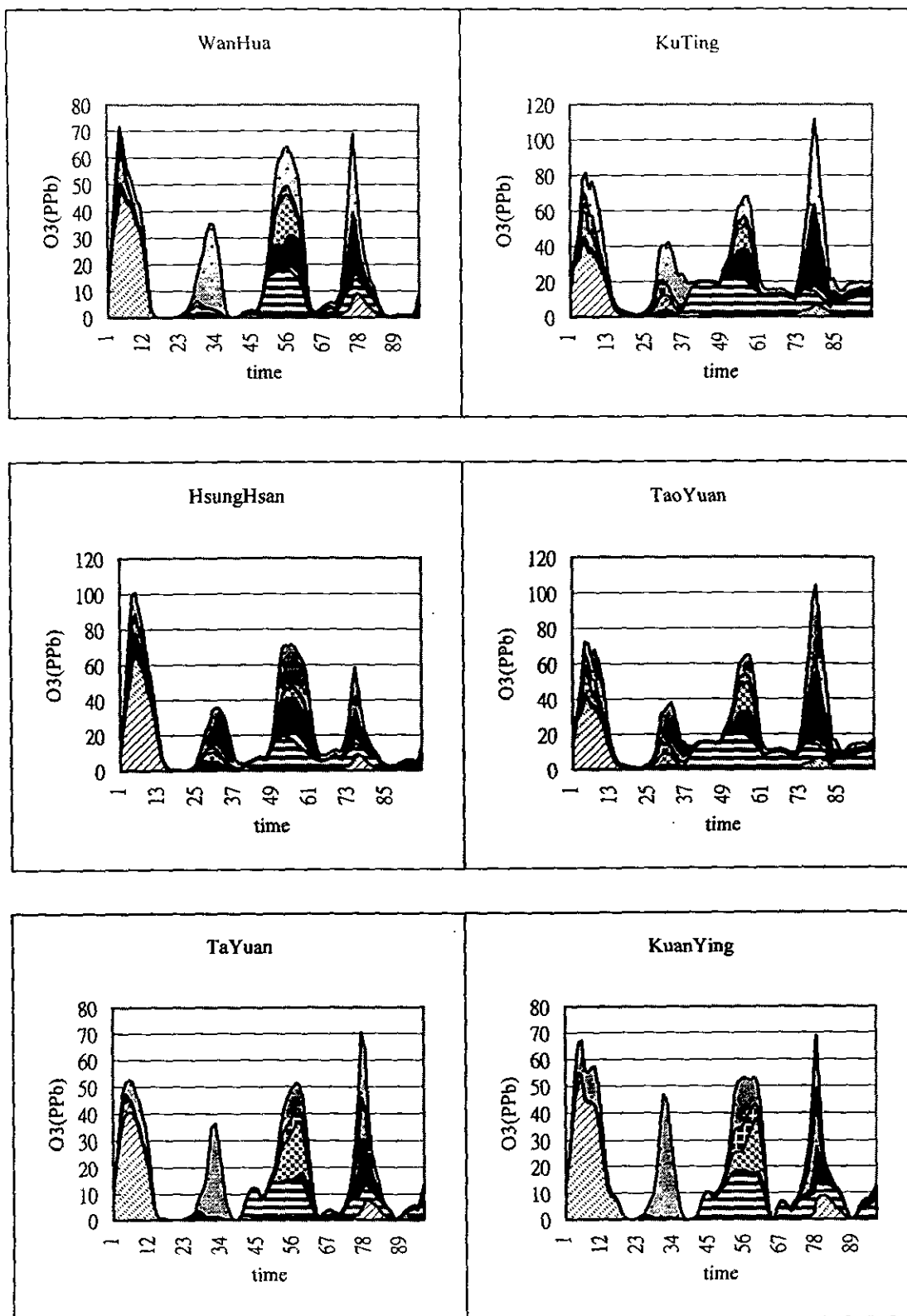


圖 6.13 北部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

## 6.2 北部地區案例二(1996 年 10 月 27 日至 10 月 30 日)

此一案例電腦模擬由 10 月 27 日 00Z(當地時間上午 8 時)開始進行，共模擬四天，所求出的地面濃度分佈如圖 6.14 至圖 6.17 所示。在此一模擬期間受高壓影響，台灣地區為晴朗的天氣，在台灣南北各地產生高臭氧事件。

第一天模擬結果發現只有在竹北一帶產生較高的臭氧(圖 6.14)，雖然當天北部測站臭氧濃度值並不高，然而這並不代表計算值正確；造成此一現象的原因與初始風場有關，初始風場只代表大尺度的氣流，地形和溫度差所造成的局部環流則沒有反映出來，所以上午所排出的污染物就被偏高的風速吹向下風地區，並沒產生高臭氧。

第二天因為高壓影響台北地區風速較弱，模擬結果顯示在台北市南邊的地區(包括台北縣和桃園縣)均產生相當高的臭氧濃度，在中午 12 時，部份地區之濃度已超過 120ppb，午後高臭氧濃度隨風緩慢往南移動，到下午二時仍有部份地區濃度超過 120ppb，但到了下午四時臭氧濃度均已降低。

第三天風速較高，污染氣團隨東北風吹向桃園新竹方向，所以在台北市附近並無高臭氧產生。

第四天風向與前幾天有很大不同，污染物吹向西南，在台北縣、桃園縣產生較高之臭氧濃度，其值達 140ppb 以上，可能受到海陸交界處的海風環流影響，在陸地及海上各形成一個高臭氧的地區，當日空氣品質監測站在許多測站均有高臭氧濃度產生，與計算值接近。

由上面的分析可以看出風場對污染物的分佈有重要的影響，在北部地區氣流受地形與溫度差異所產生的局部環流之影響極大，如果風場模擬不正確，則計算出之臭氧濃度分佈與真實情況會有很大的差異，還好台北地區有複雜的地形，所以風場模擬較為正確，因此污染物模擬均相當合理。

圖 6.18 至圖 6.20 為北部地區案例二模式所求出的臭氧濃度與空氣品質測站監測值的逐時比較結果。由圖上可以看出，此一案例模式計算值非常正確，不但正確掌握時空的分佈，連尖峰濃度也都能正確地加以推估，在尖峰濃度模式所求出的誤差小於 10%，可算是相當成功的模擬。

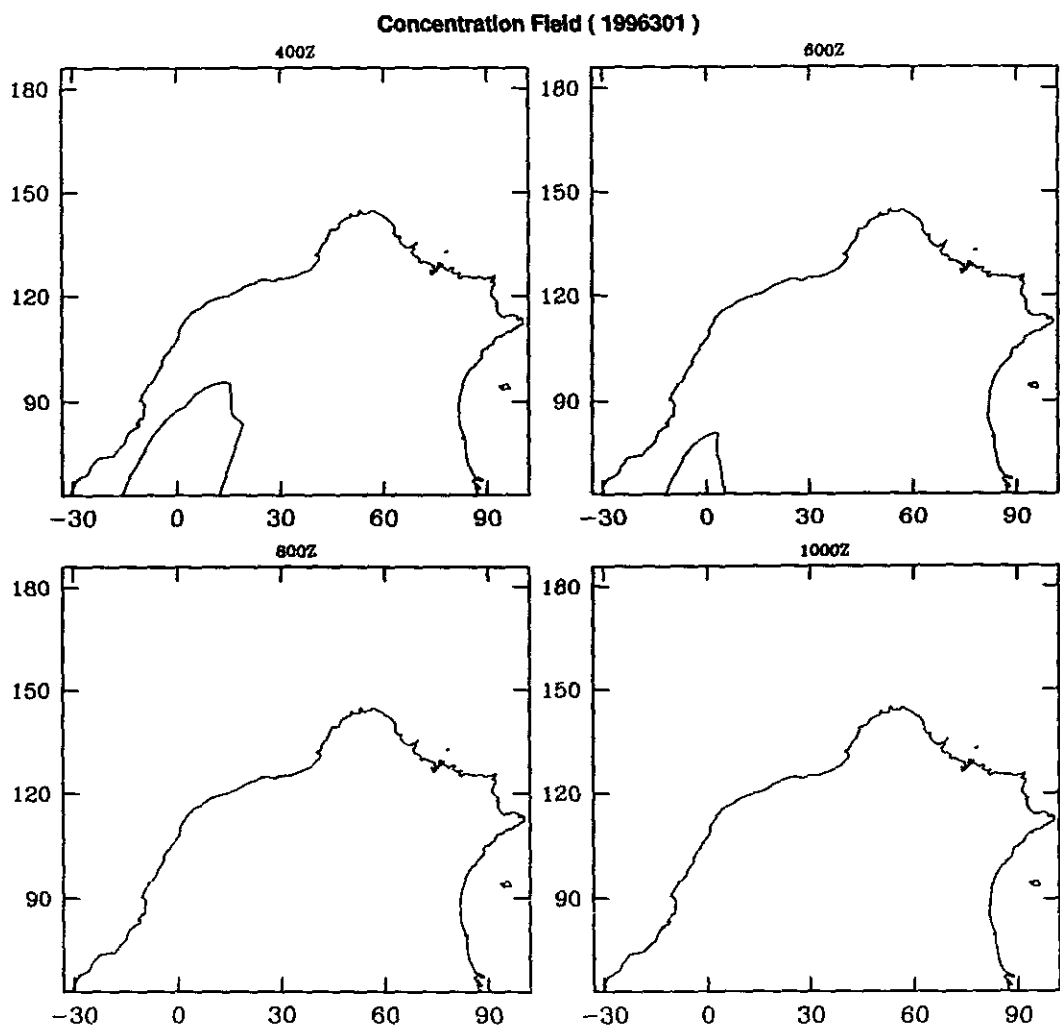


圖 6.14 1996 年 10 月 27 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

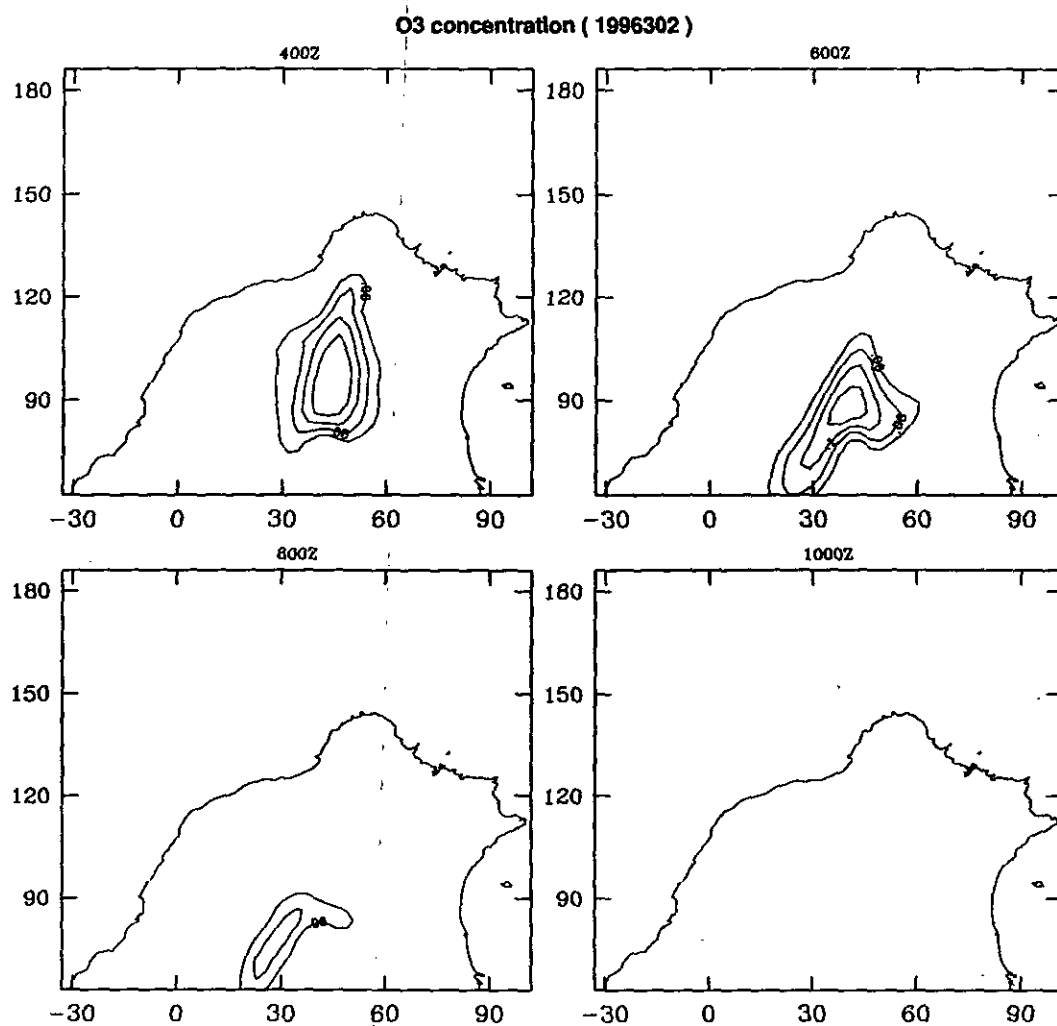


圖 6.15 1996 年 10 月 28 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

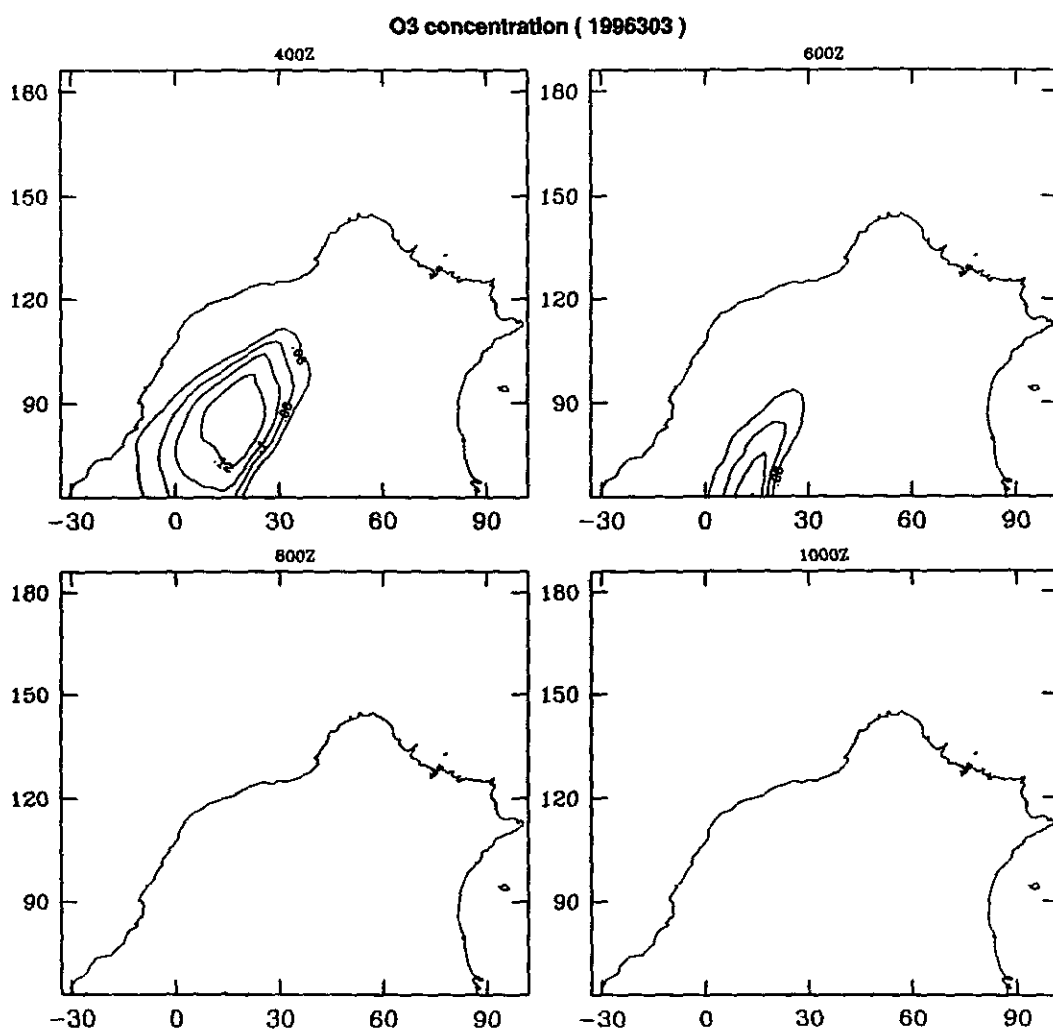


圖 6.16 1996 年 10 月 29 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

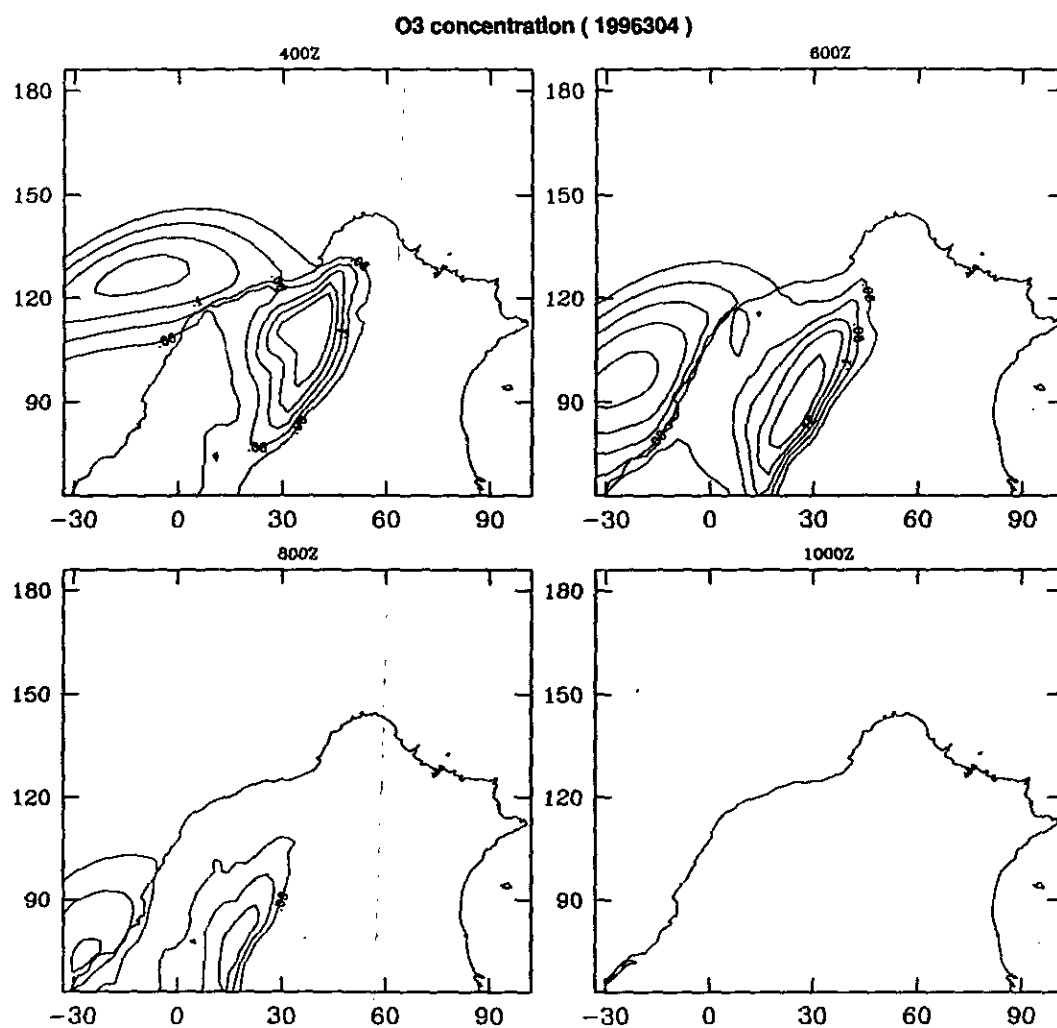


圖 6.17 1996 年 10 月 30 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

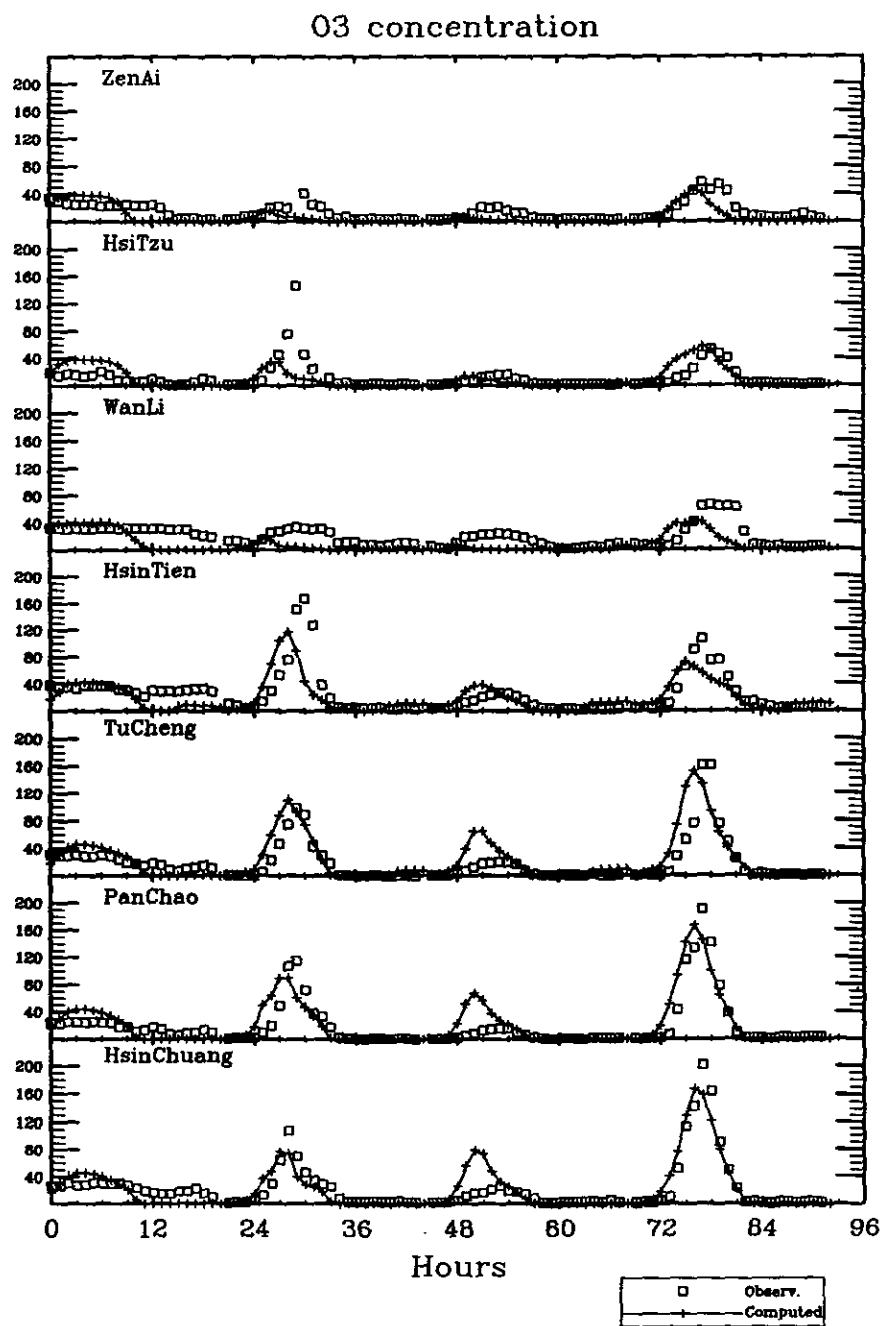


圖 6.18 北部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)



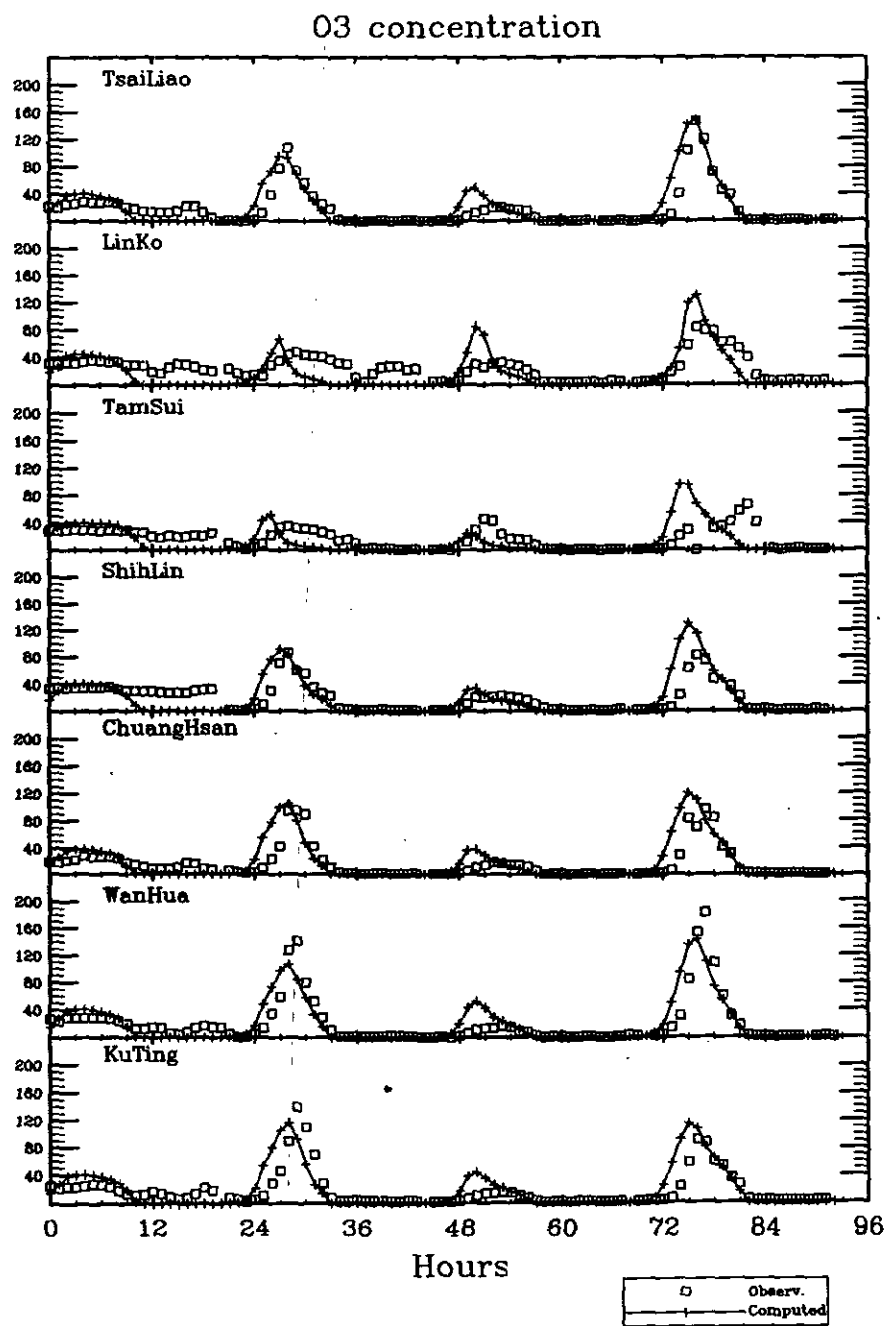


圖 6.19 北部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)

# O<sub>3</sub> concentration

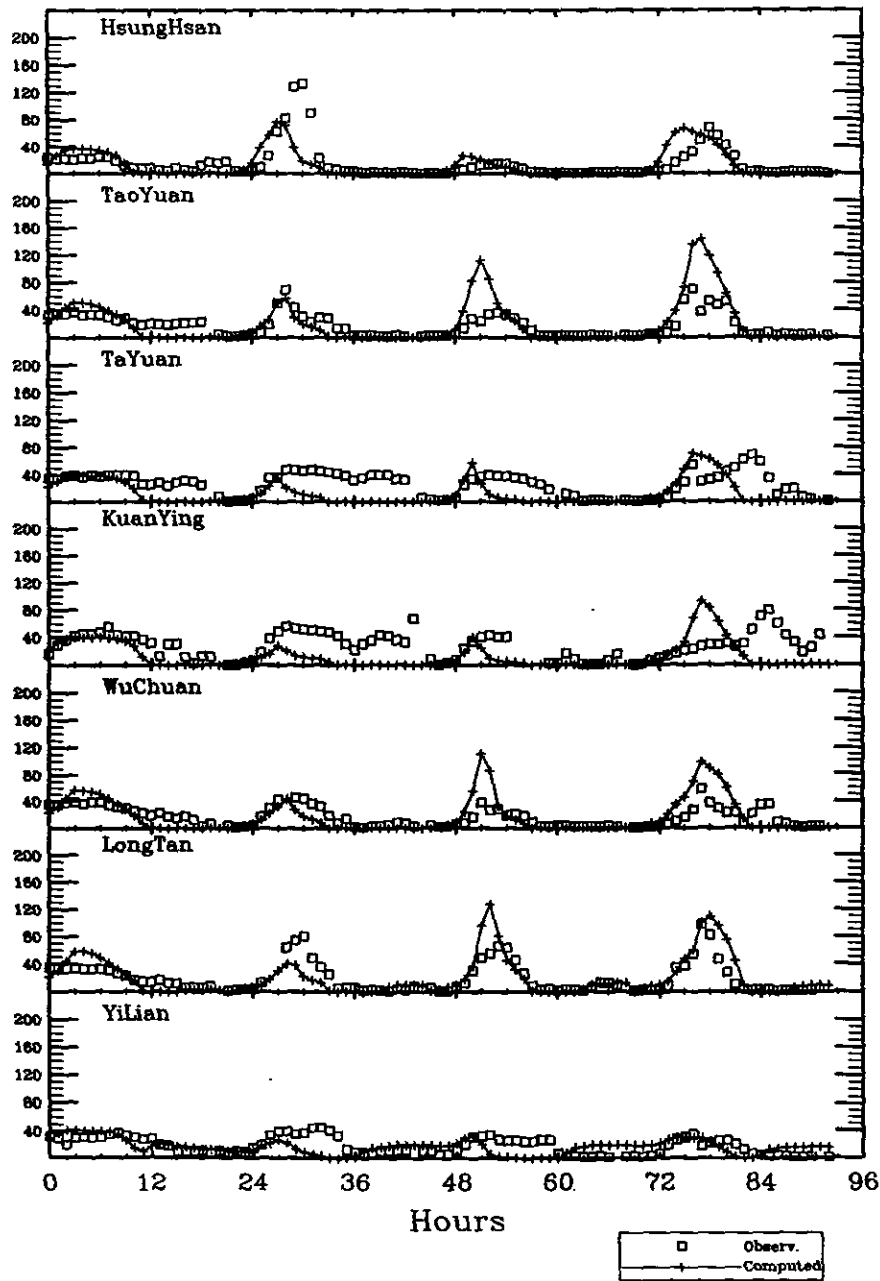


圖 6.20 北部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(三)

因為此一案例吹東北風，所以產生高濃度的區域都在台北市南邊，而北邊的仁愛、汐止、萬里等地濃度均未超過 80ppb；相反地，南邊的測站如：土城、板橋、新莊、菜寮、萬華等地，第四天的最高臭氧濃度均超過 160ppb。模式均能正確模擬，所以計算結果在空間的分佈很合理。

因為每天的風速和風向不同，所以每天濃的臭氧濃度也隨之變化，一般而言，第二天和第四天臭氧濃度之觀測值較高，而第三天則相對較低，模式的計算結果與觀測值非常吻合，在時序列的變化上計算值與監測值走勢接近。

雖然模式的模擬相當正確，但還是有一些地方值得注意。在海邊的測站(如淡水、觀音、大園)臭氧濃度常有兩個尖峰值，其一發生中午左右，另一較低的峰值產生於傍晚，此一現象可能與海陸風有關，可惜模式模擬並無此種現象。

由以上的討論，可以看出模式的結果相當合理，因此我們進一步對高臭氧的成因加以分析。

圖 6.21 至圖 6.23 為北部地區案例二臭氧成因的分析，由這些圖上我們可以發現在此一案例中不同測站其臭氧的成因略有不同。除了濃度較低的區域外，通常生物源對臭氧的形成影響相當小，移動污染源和固定污染源的影響較大。至於固定污染源和移動污染源的貢獻量，其比率隨地點而改變，有時固定污染源較高，有時移動污染源較高。固定污染源對臭氧的影響主要因為 VOC 而產生，但移動污染源中 VOC 和  $\text{NO}_x$  所產生的影響在某些區域相當接近，總體而言，此一區域臭氧為 VOC 控制，改變 VOC 的排放量可以降低臭氧濃度，不過對移動污染源則雙管齊下能產生較好的效果。

圖 6.24 至圖 6.26 為北部地區案例二各縣市排放源對臭氧成因的影響分析，由這些圖上我們可以發現，在台北市北邊的地區受台北縣市污染源影響較大，但是台北市以南的地區，其他縣市的污染源的貢獻量相當顯著，跨空品區的探討仍舊相當重要。

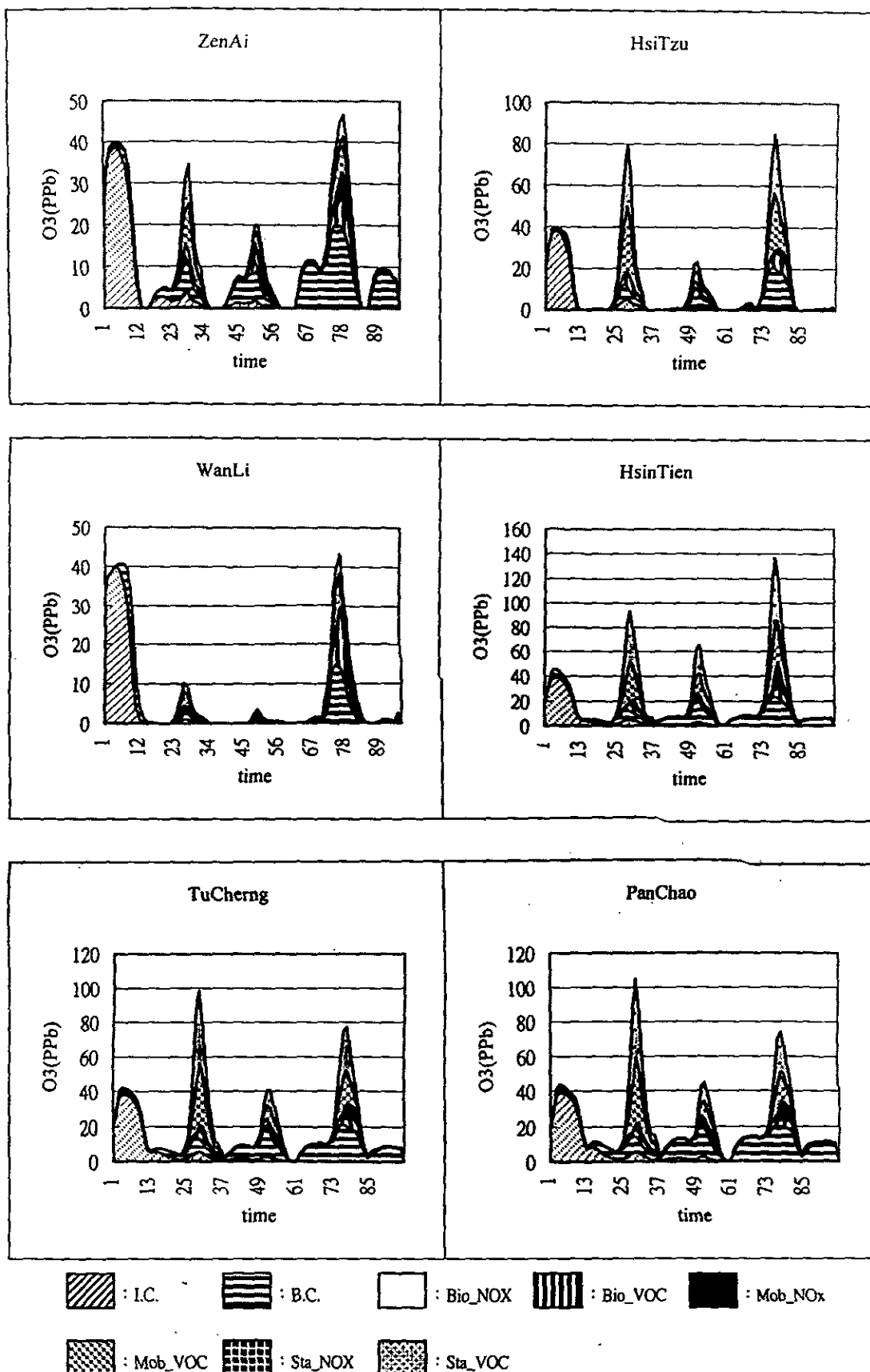


圖 6.21 北部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

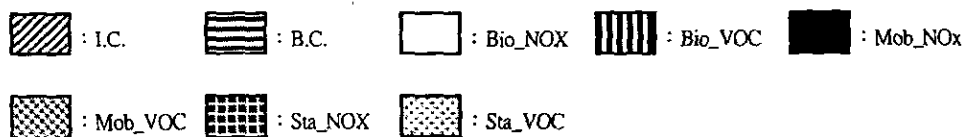
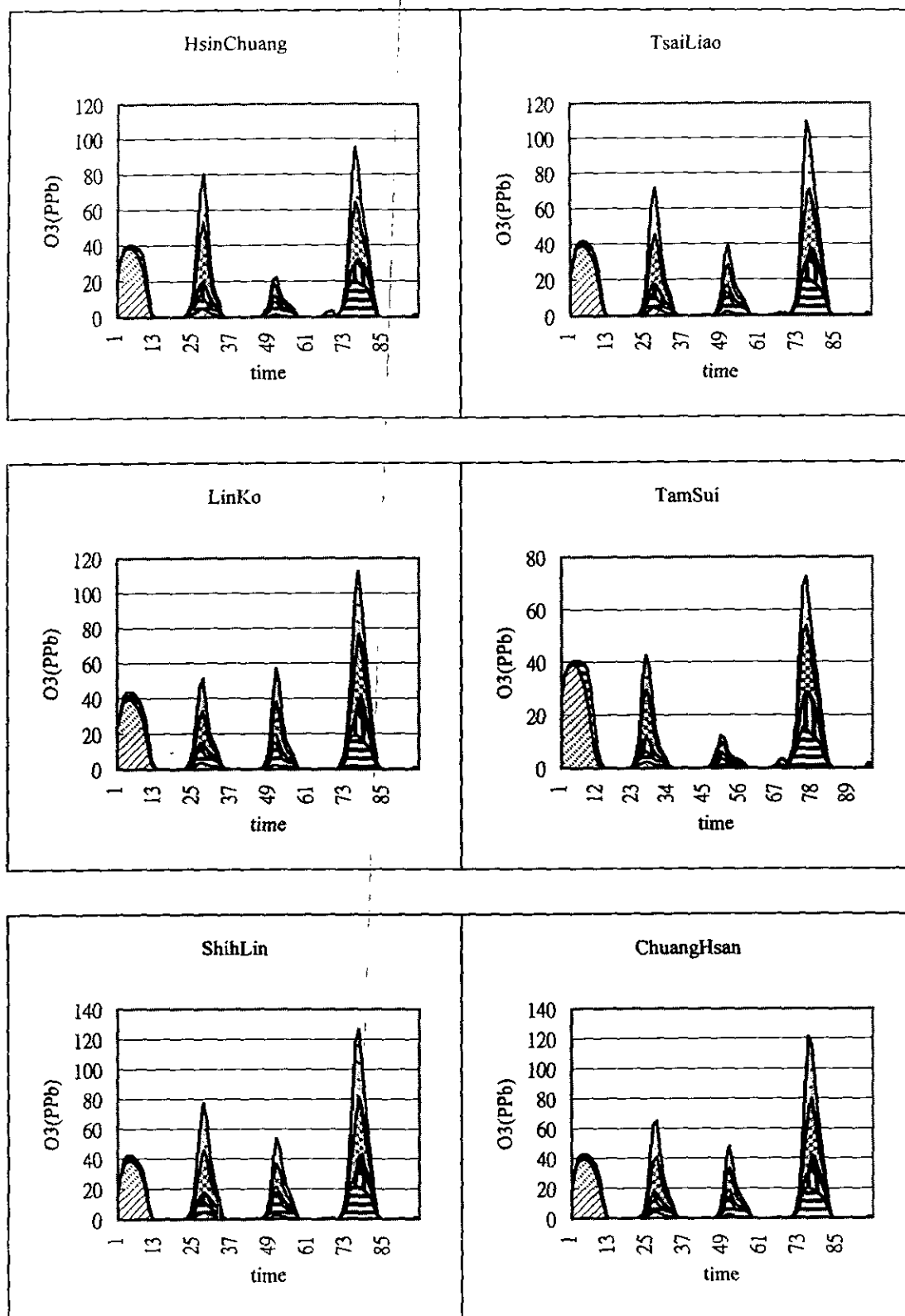


圖 6.22 北部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)

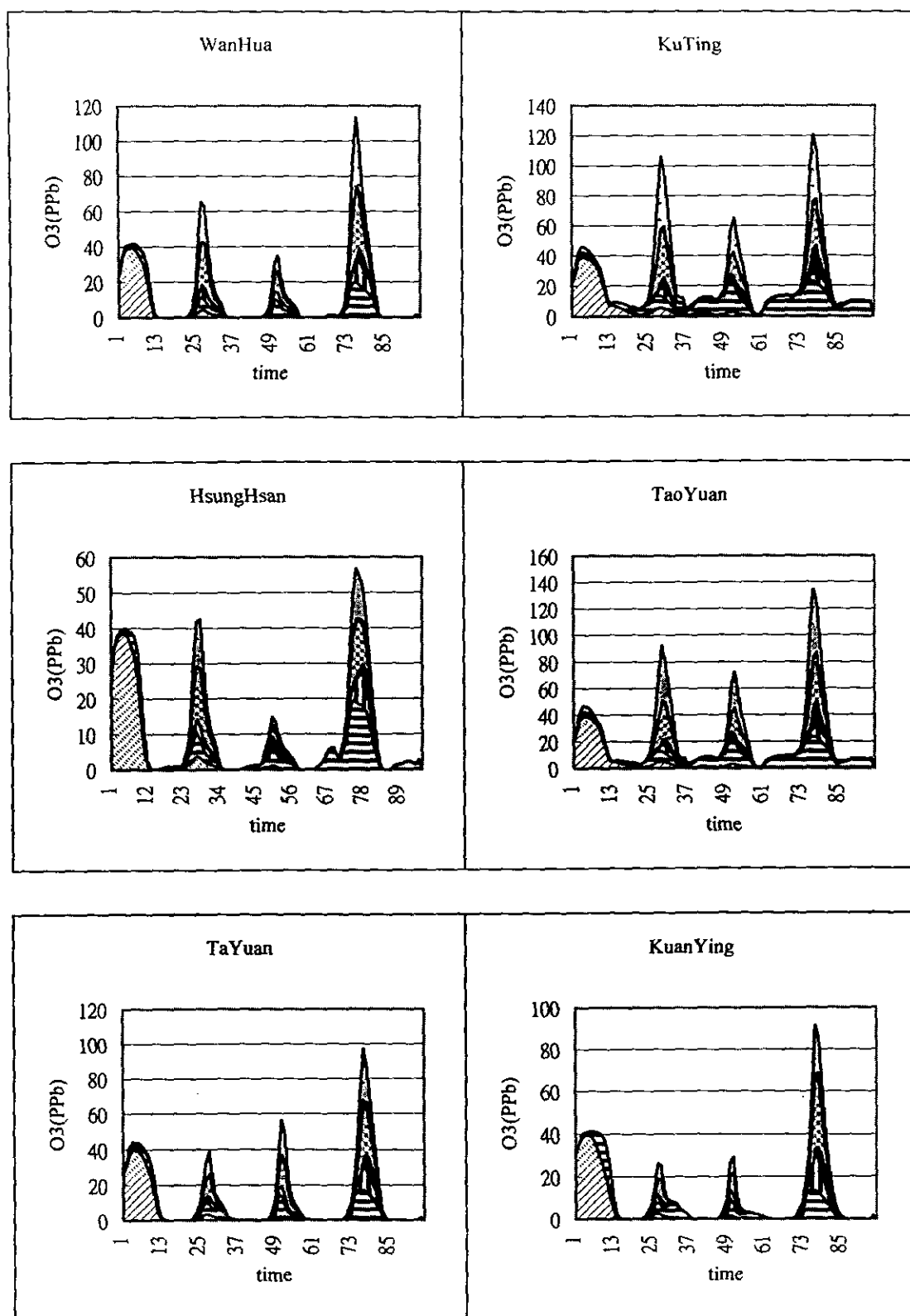


圖 6.23 北部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

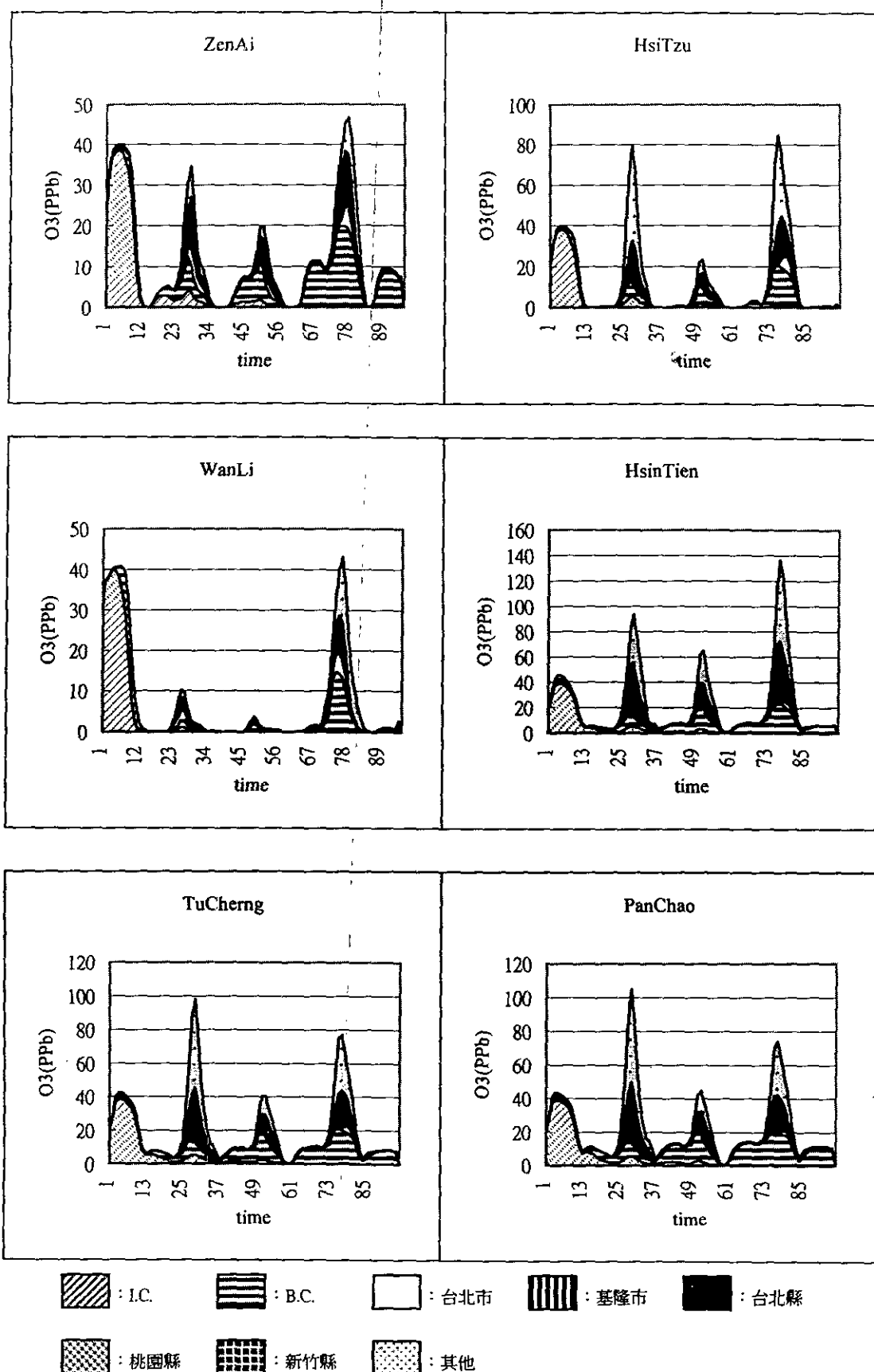


圖 6.24 北部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

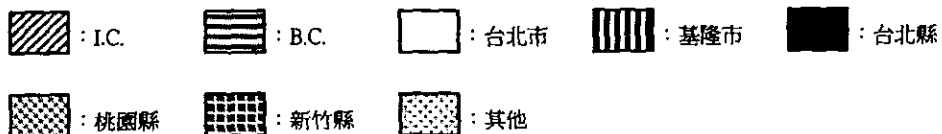
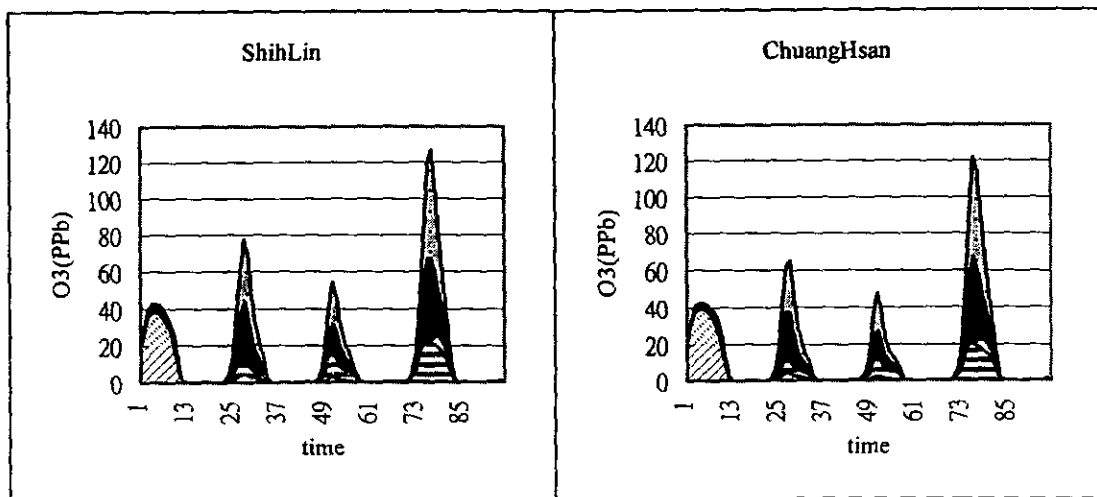
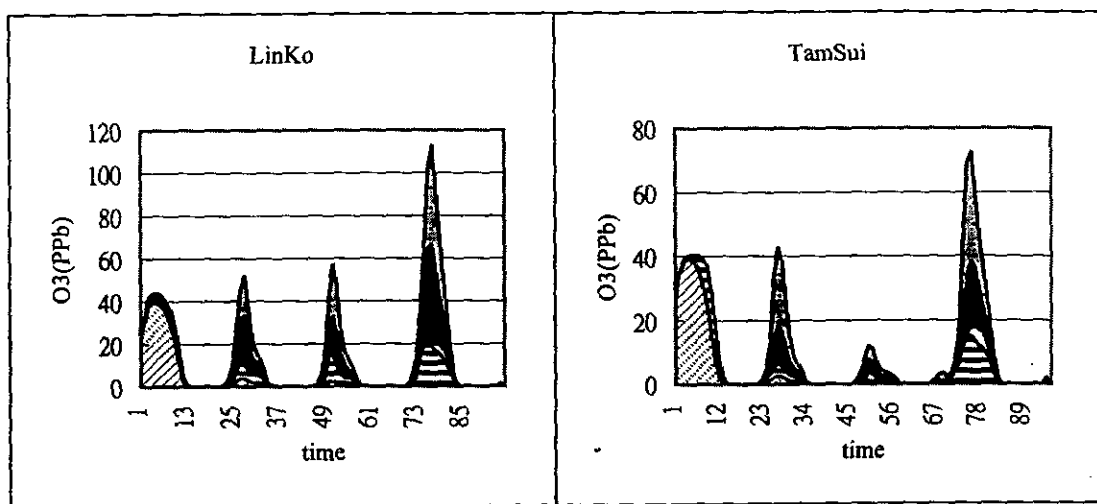
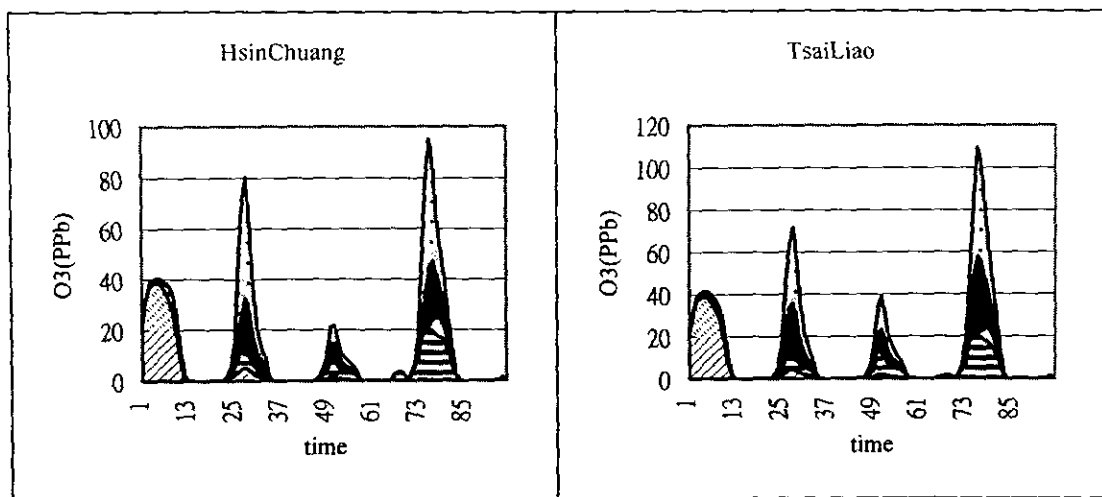


圖 6.25 北部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)



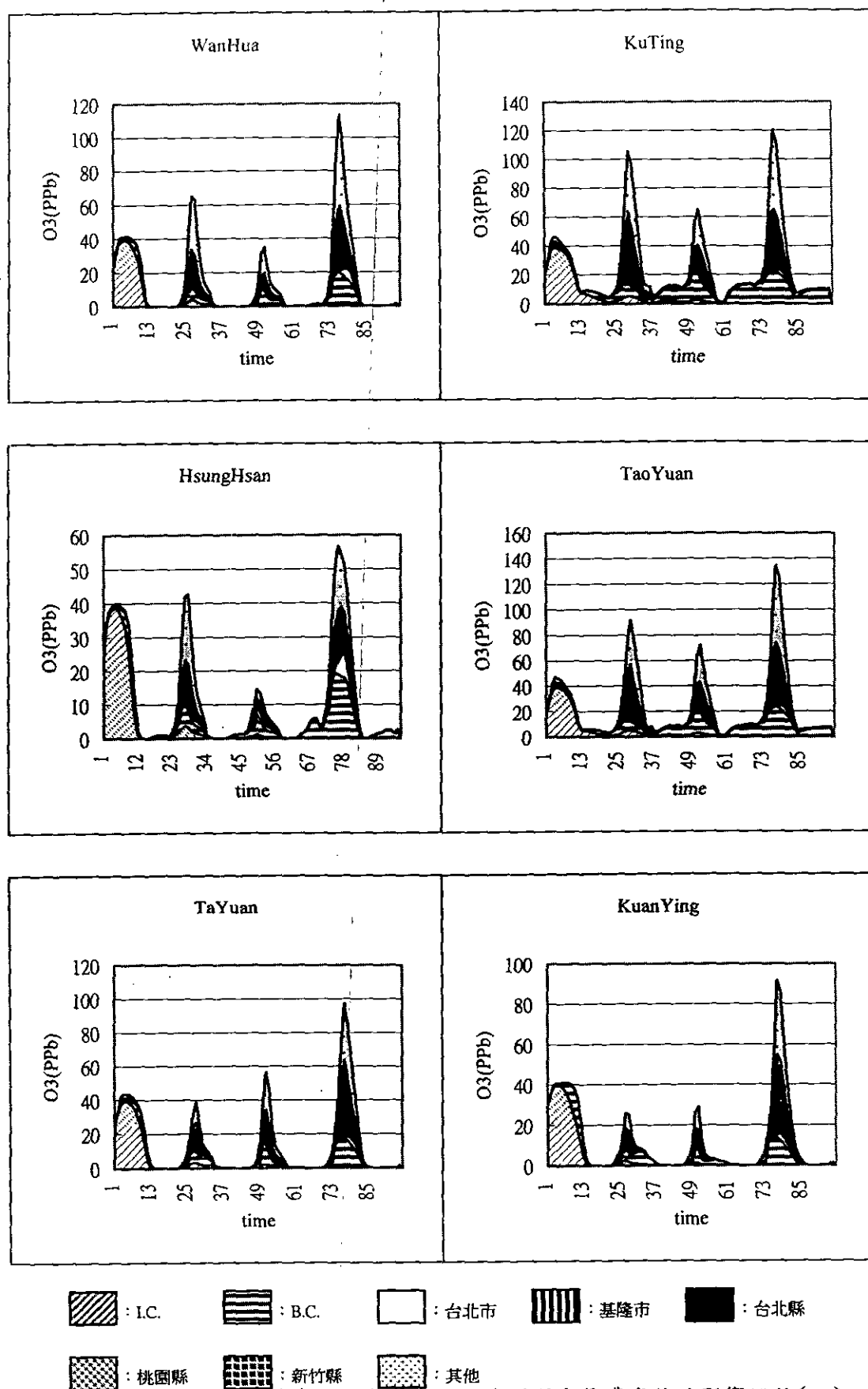


圖 6.26 北部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

#### 6.4 南部地區案例一(1996 年 10 月 6 日至 10 月 9 日)

此一案例模擬初期(10 月 6 日)，正好有一道冷鋒逐漸接近台灣，10 月 8 日該鋒面通過台灣，在模擬期間綜觀天氣系統有較大的變化。

圖 6.27 至圖 6.30 為利用 CAMx 模式所模擬不同時間之地面臭氧濃度分佈圖。第一天的結果顯示高濃度區域發生於台南高雄間，其高值在陸地約 80ppb，在海面上可達 100ppb 以上，此乃因當天南部為東風，而氣流在南部產生分離所致。第二天之模擬結果與第一天類似臭氧的高濃度區產生於台南高雄間，但臭氧之尖峰值較第一天高，在陸地達 100ppb 以上，在海面上可達 120ppb 以上，海面上臭氧的尖峰值與興達電場似乎有關。第三天隨著鋒面南下東北風逐漸增強，因此污染物往東南傳輸，濃度於高雄南邊較高，但陸地上臭氧最高只達 90ppb 左右；在海面上形成一個高臭氧的區域，其最高值超過 120ppb 以上。第四天所模擬出的風速仍強，風向則與第三天接近，但臭氧濃度比第三天略低。

圖 6.31 至圖 6.32 為南部地區案例一，模擬結果和監測資料進行時間與空間皆配對的時序列比較。由圖上可以看出，模式計算結果有低估的趨勢，整體看來高濃度的區域是正確的，但濃度計算值偏低。雖然曾努力加以改善，但結果仍不理想。我們推測造成的原因可能有：(1)風場模擬不正確，風速過高，因此濃度偏低。(2)污染排放量不正確。(3)大點源的處理方式不理想。

圖 6.33 至圖 6.35 為南部地區案例一臭氧成因的分析，由這些圖上我們可以發現在南部地區生物源對臭氧的形成影響較小，移動污染源和固定污染源的影響較大。移動污染源中部份地區呈現  $\text{NO}_x$  對臭氧的影響比 VOC 要大，但也有部份地區兩者之影響接近。而固定污染源對臭氧的形成則主要由 VOC 所控制。由此一個案的結果可以看出移動污染源之  $\text{NO}_x$  和 VOC 皆須減量，而固定污染源則須減少 VOC 量。

圖 6.36 至圖 6.38 為南部地區案例一各縣市排放源對臭氧成因的影響分析，高雄市北邊的測站，主要受南高屏以外縣市的影響，其次才是台南縣。至於高雄市以南的地區，雖然主要的污染源來自當地，但是區域外其他縣市的貢獻量還是大於 1/3，所以最好能考慮跨空品區的傳輸。

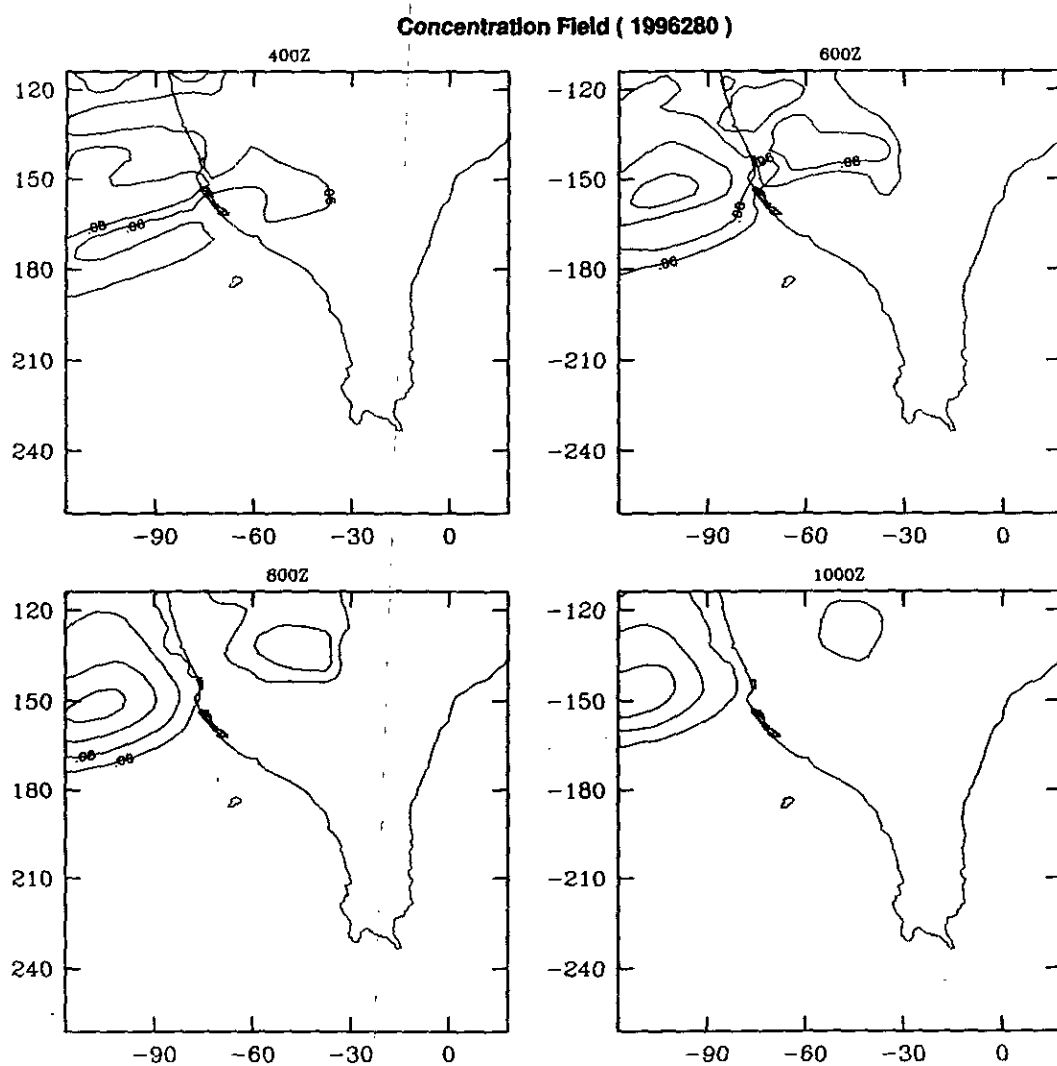


圖 6.27 1996 年 8 月 6 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

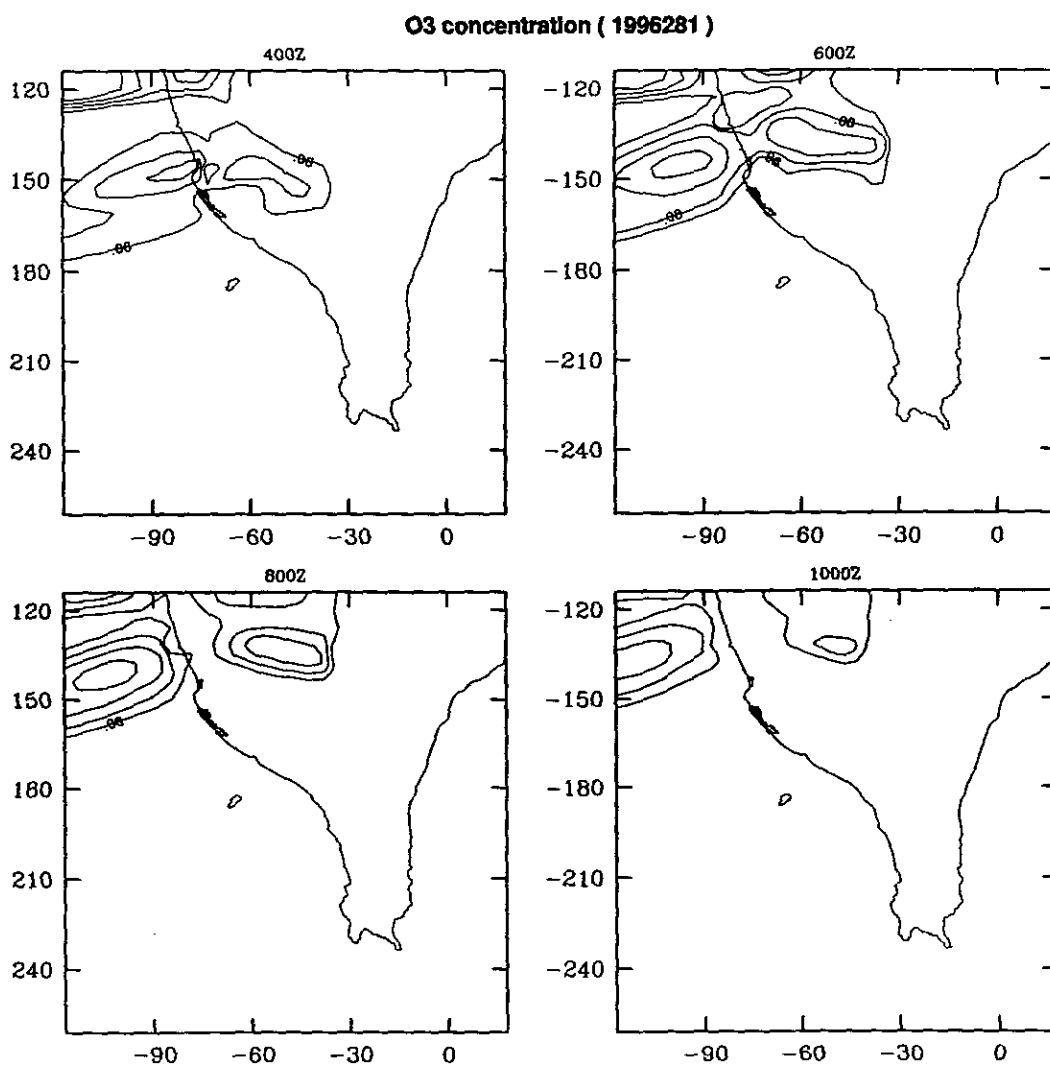


圖 6.28 1996 年 8 月 7 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

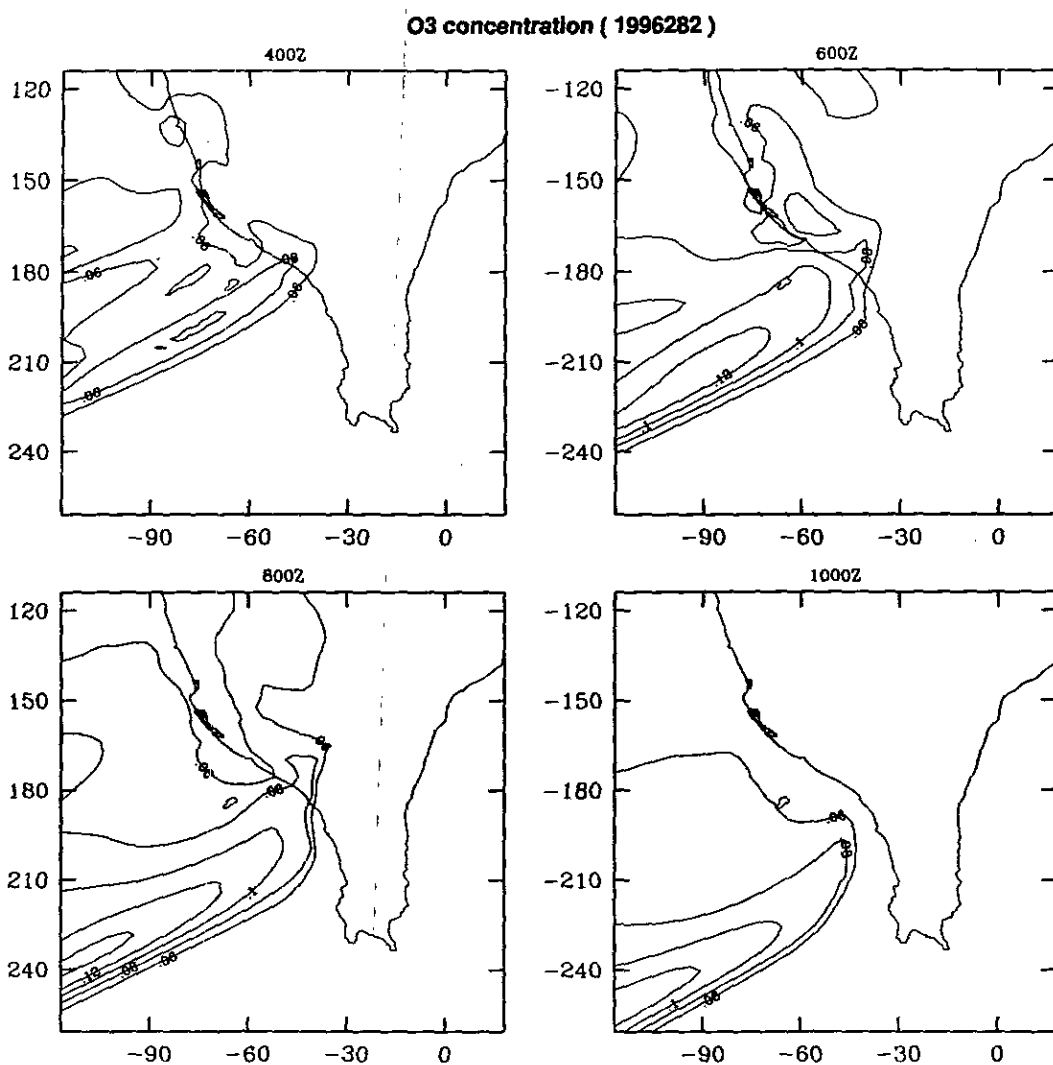


圖 6.29 1996 年 8 月 8 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

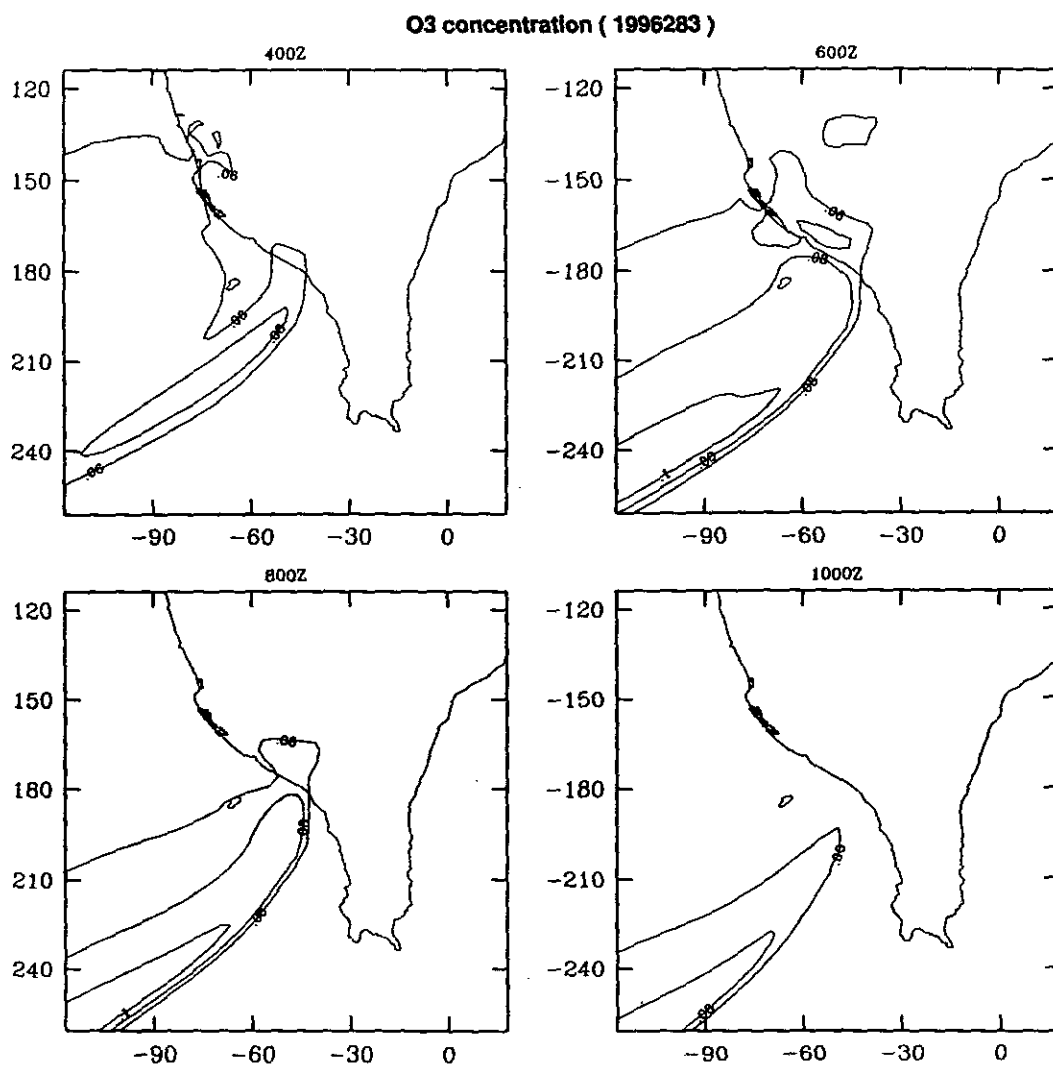


圖 6.30 1996 年 8 月 9 日模式計算出的地面臭氧濃度分佈

# O<sub>3</sub> concentration

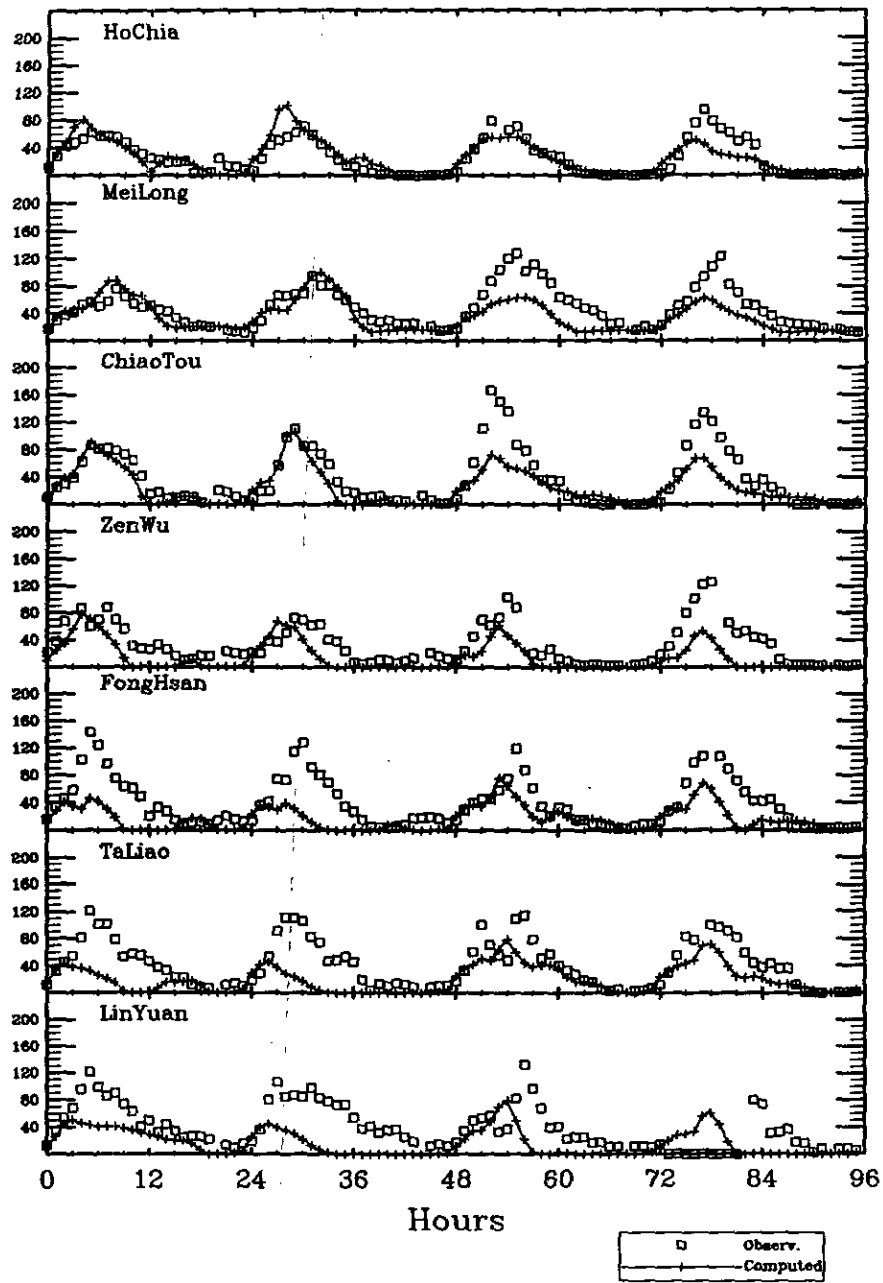


圖 6.31 南部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)

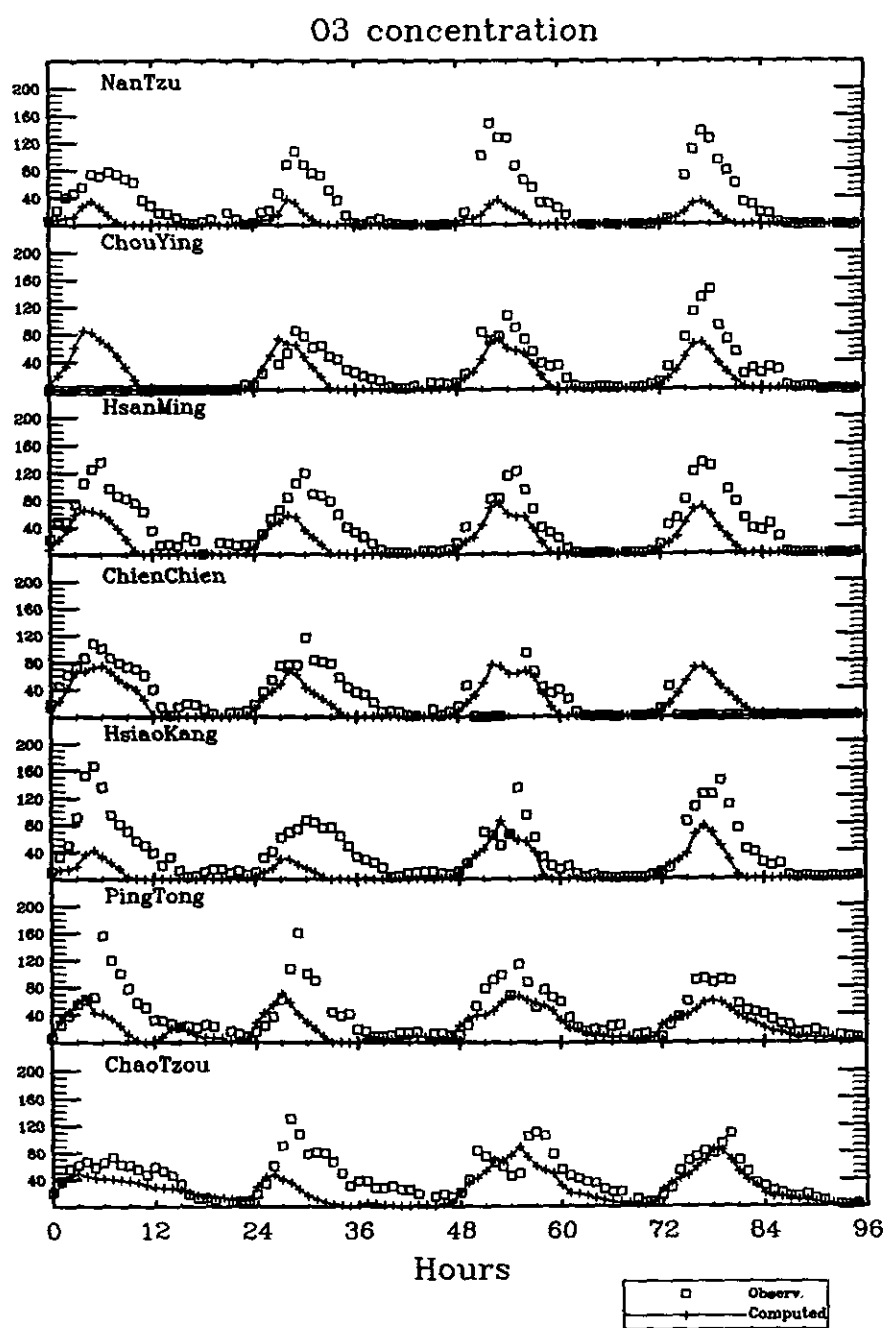


圖 6.32 南部地區案例一模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)



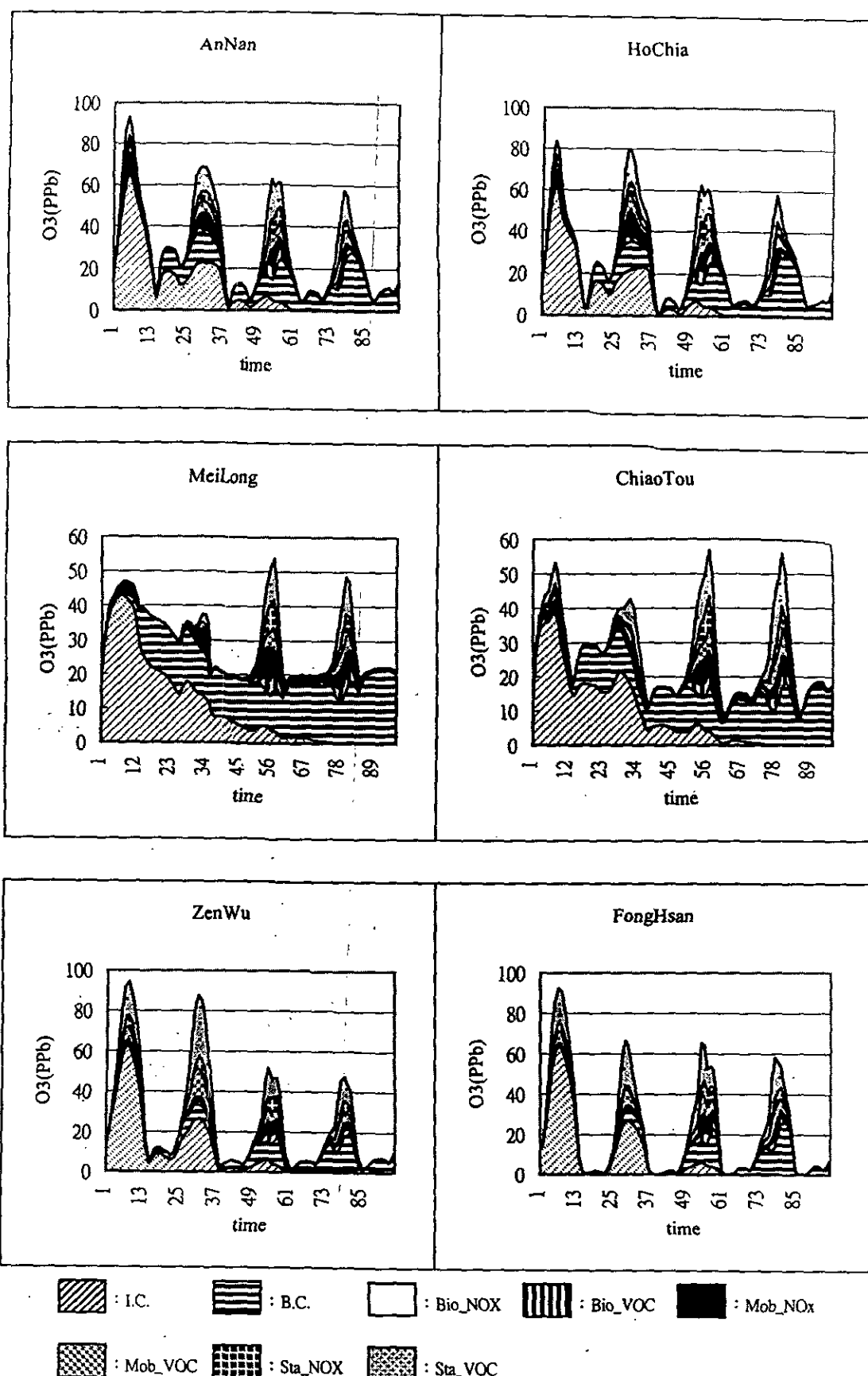


圖 6.33 南部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

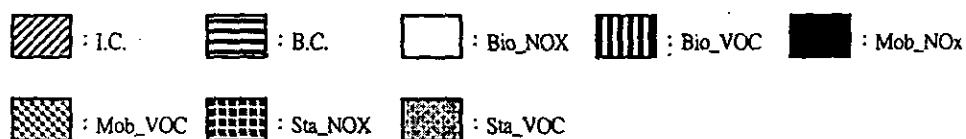
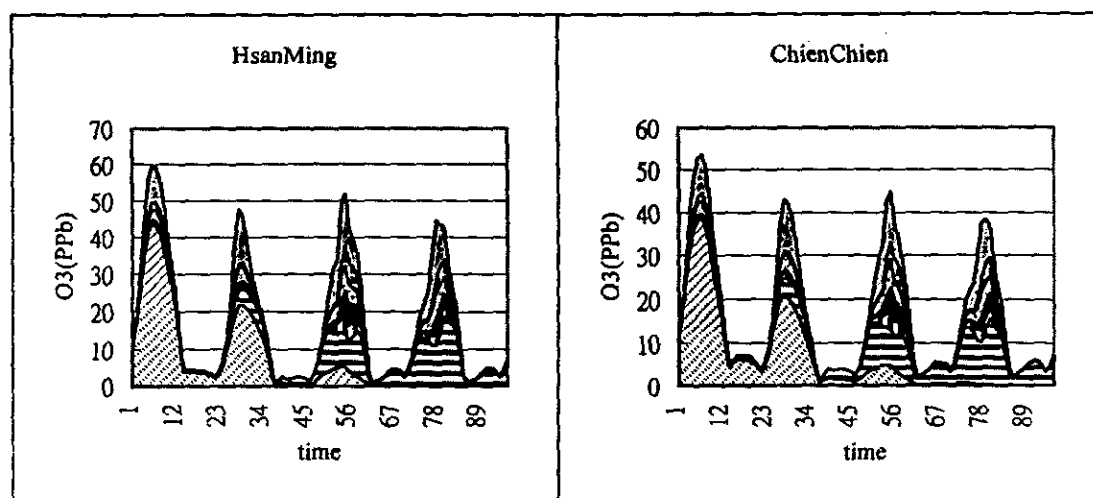
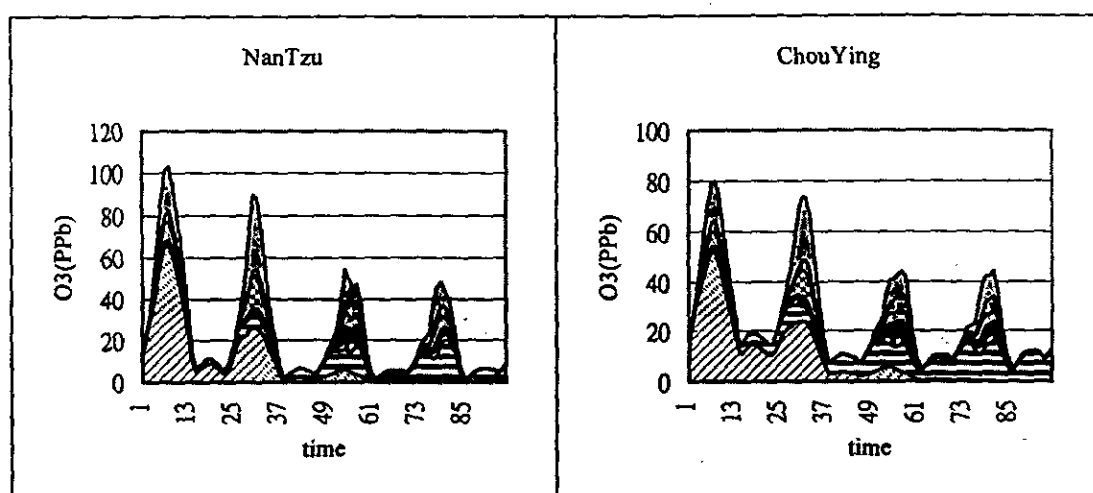
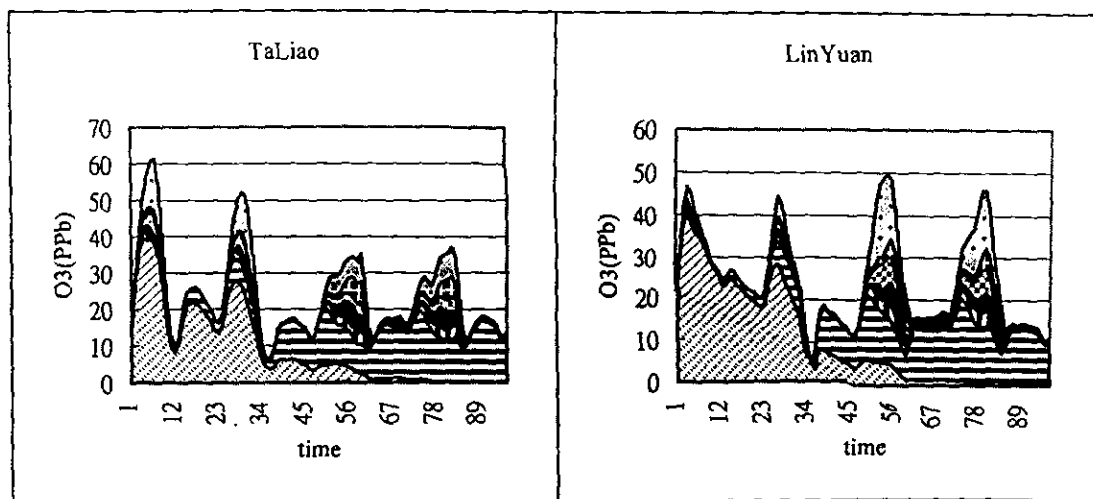


圖 6.34 南部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)

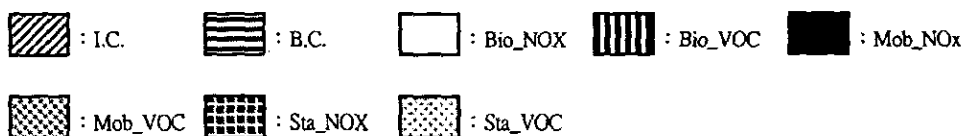
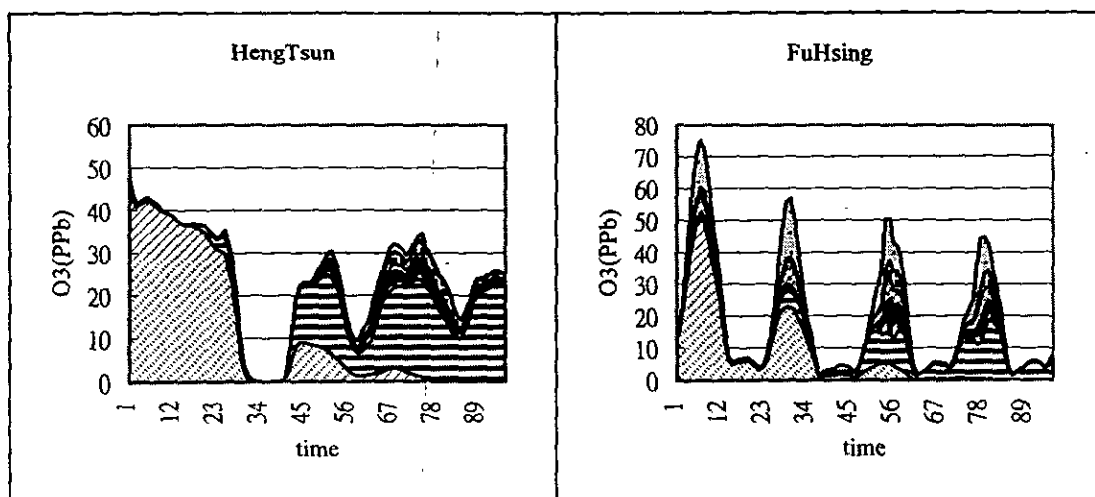
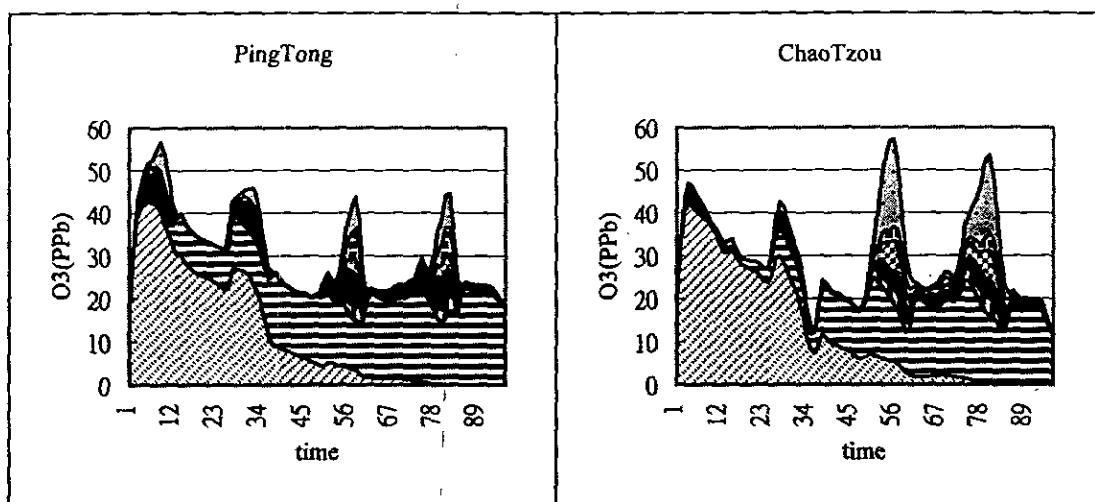
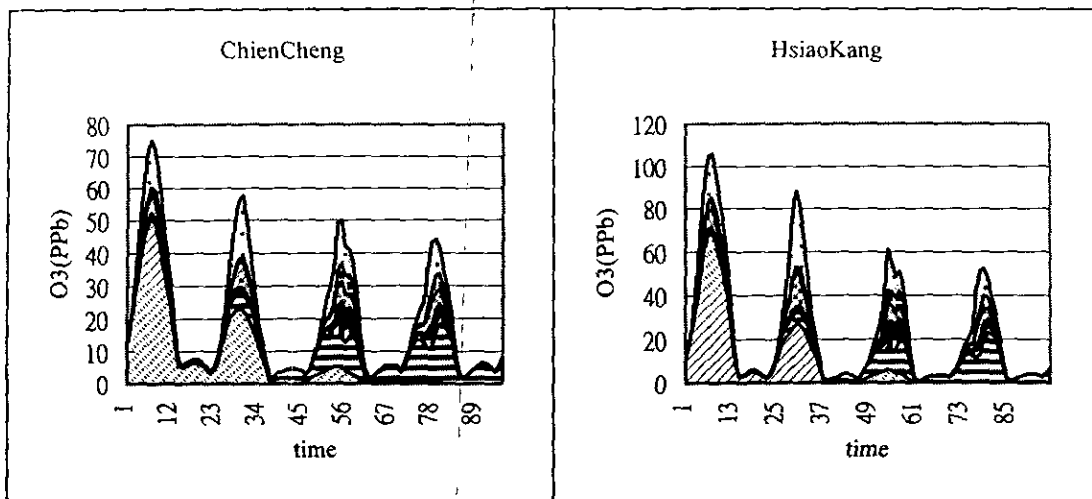


圖 6.35 南部地區案例一各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

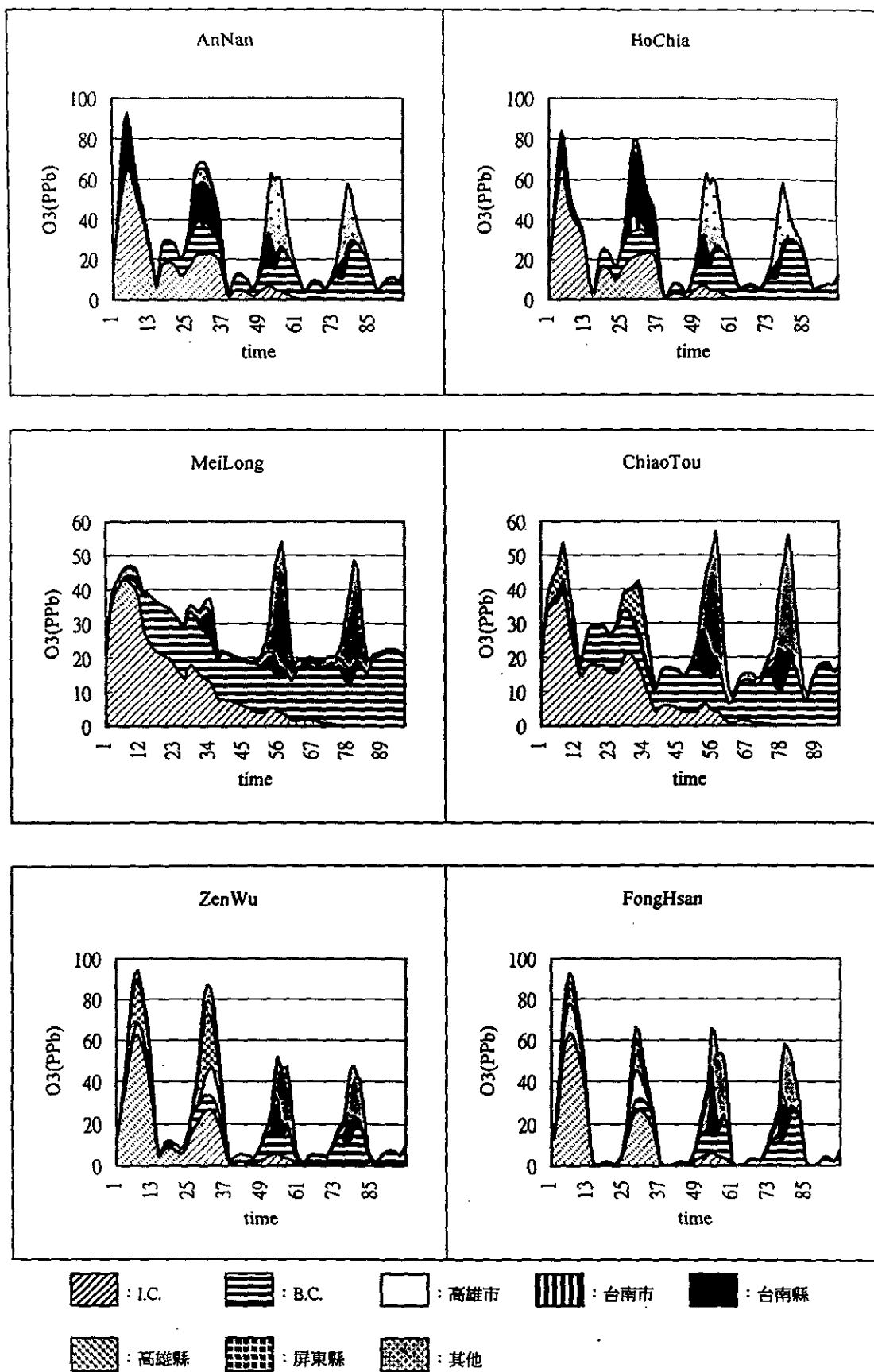


圖 6.36 南部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

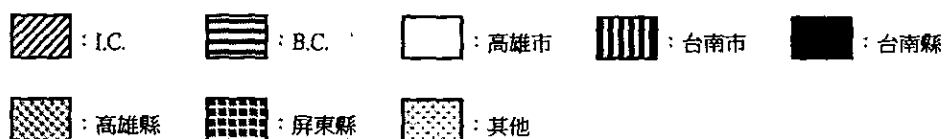
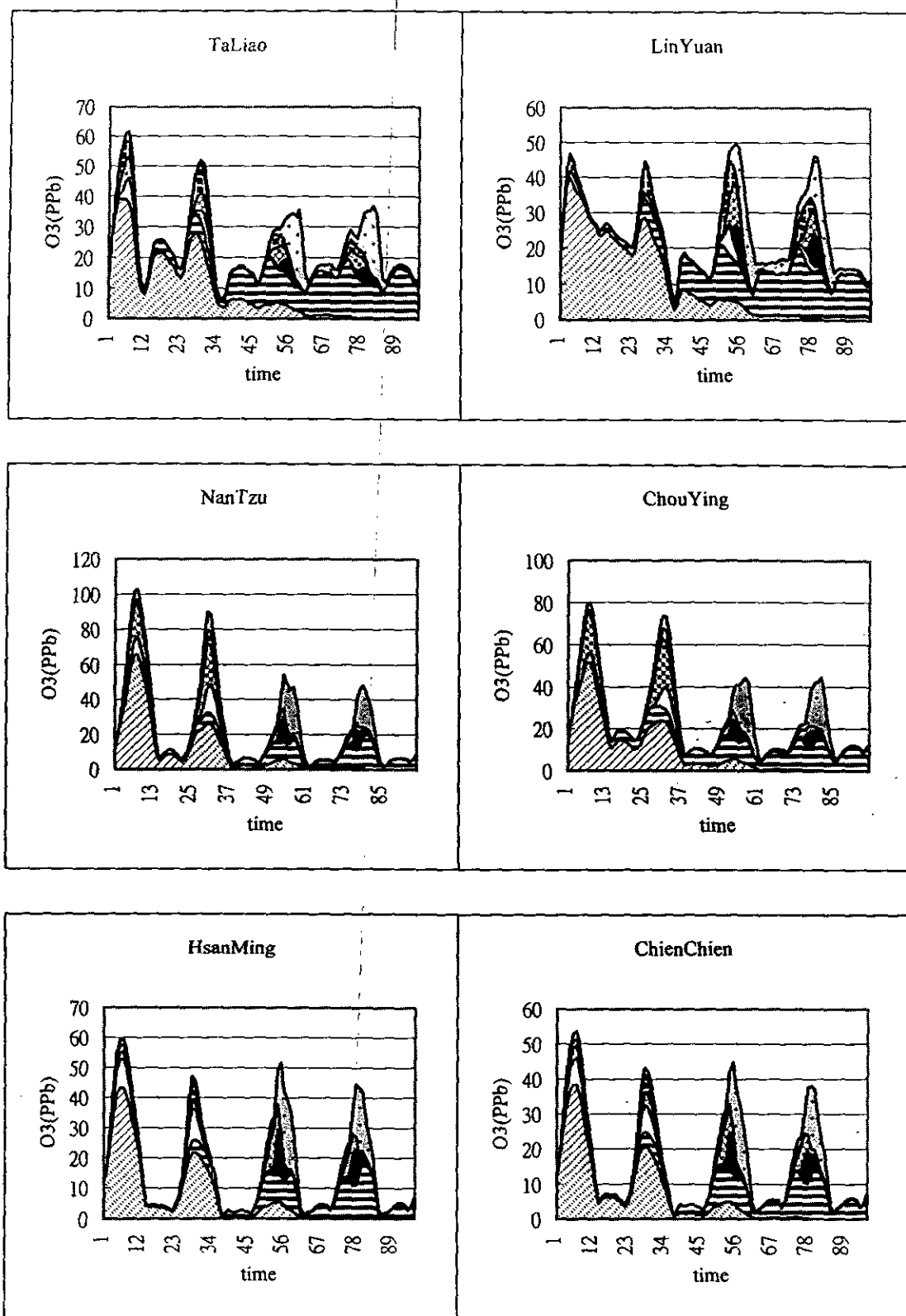


圖 6.37 南部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)

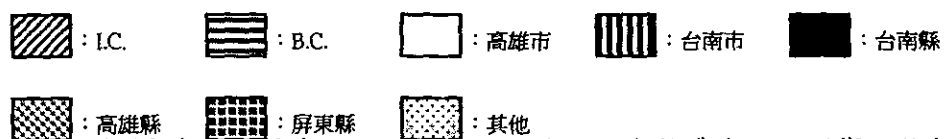
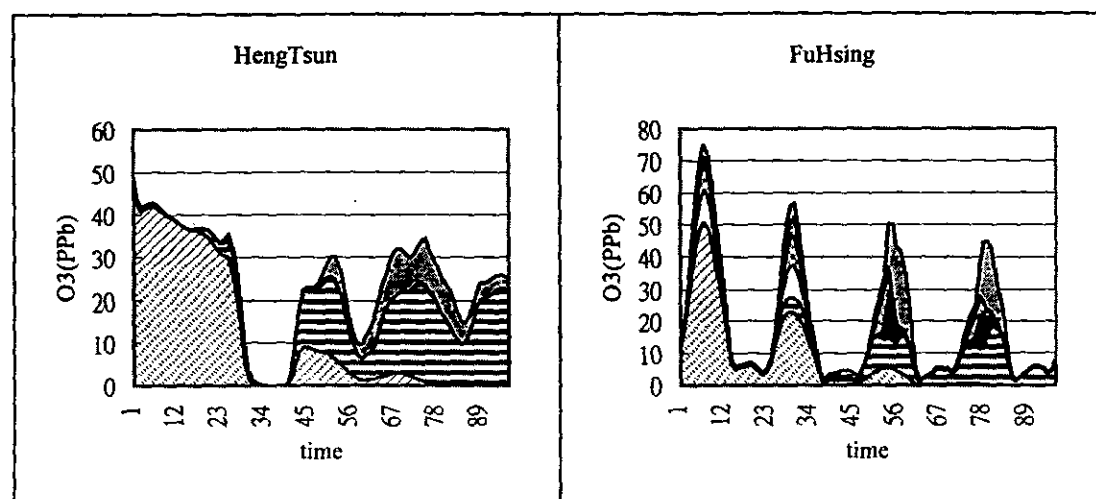
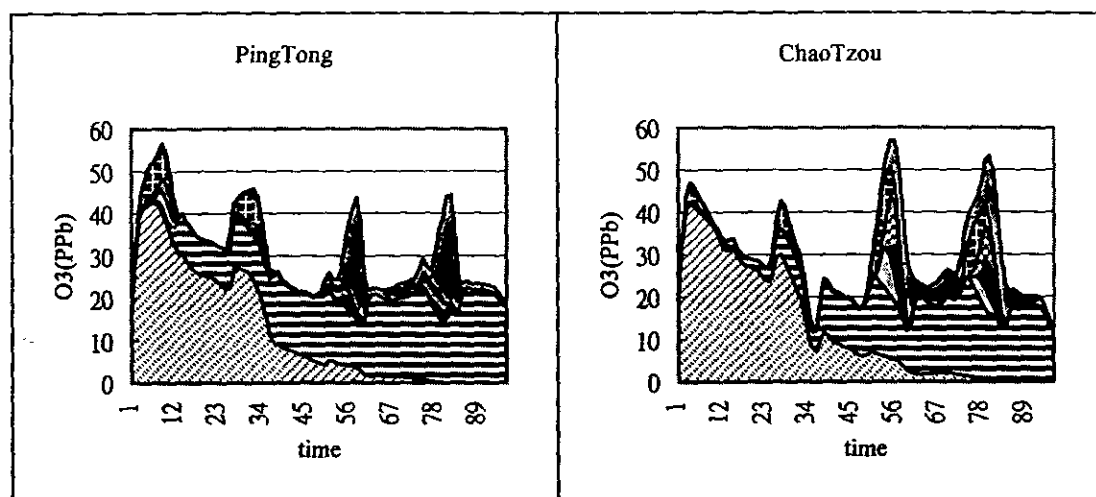
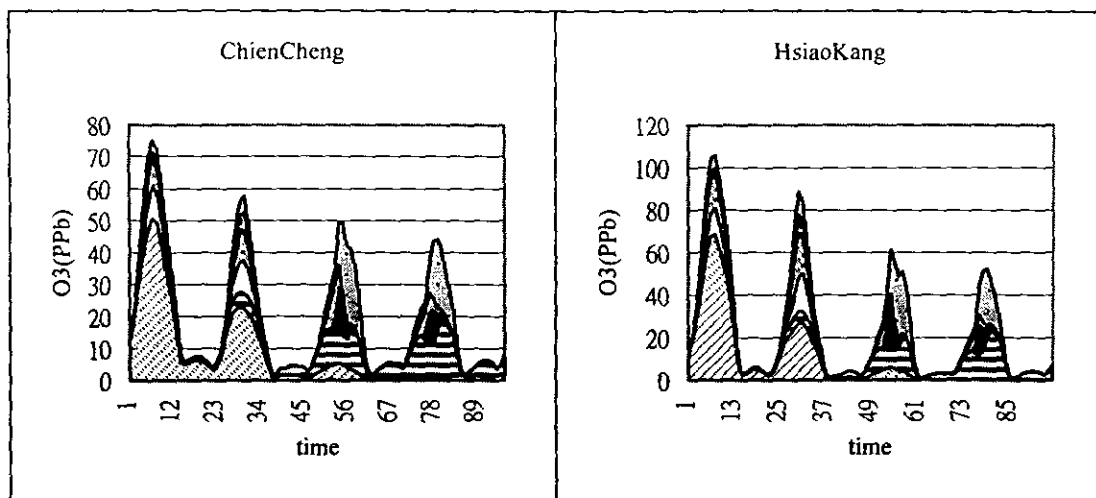


圖 6.38 南部地區案例一各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

## 6.5 南部地區案例二(1996 年 10 月 27 日至 10 月 30 日)

此一案例與北部地區案例二為同一時段，在模擬期間雖受高壓影響，台灣全島多處產生高臭氧事件。電腦模擬由 10 月 27 日 00Z(當地時間上午 8 時)開始進行，共模擬四天，所求出的地面濃度分佈如圖 6.39 至圖 6.42 所示。

第一天模擬由 00Z(上午八時)開始。此時大尺度的風場顯示南部地區為東北風，因此污染物吹向西南邊，在屏東西邊海面上產生相當高的臭氧濃度，但陸地上則只有台南高雄間濃度大於 60ppb，其餘地區濃度都很低。

第二天之模擬結果與第一天類似，但陸地上高臭氧濃度的區域略往南移，在高雄市東南邊濃度較高，但也只有約 60ppb。在海面上，臭氧濃度較高，由其分佈情形可以看出與大型點污染源有關，因為高點源之煙流高度較高，受到海風環流的影響吹向海面。

第三天陸地上高臭氧濃度的區域較大，包含台南市到林邊一帶靠海地區，臭氧濃度都大於 60ppb，部份地區更達 100ppb，由圖 6.41 可以看出高臭氧先產生於海邊(04Z)，然後逐漸往內陸延伸，部份地面直到下午四時才產生最高的臭氧濃度。第四天與第三天的結果相當接近，可能因為風速較慢所以產生的臭氧濃度較第三天高。

將觀測值與計算值加以比較如圖 6.43 至圖 6.44 所示。由圖上可以看出，有部份測站模式計算結果與觀測值非常吻合，不但時序列的分佈非常正確外，在尖峰濃度也都能正確地加以推估，這些測站包括後甲、橋頭、仁武、鳳山、左營、前鎮、小港等，這些測站大都位於污染源的邊緣，其當日最大小時臭氧濃度值約 80 ppb。

然而也有一些測站模擬結果較不理想，包括美濃、屏東、潮州，這些測站均位於離污染源較遠的內陸區域，在第三天和第四天其最大小時臭氧濃度值均超過 160ppb，是污染最嚴重的區域；可惜模式在這些測站的計算值均明顯低估。我們推測造成此一缺失的原因與風場的誤差有關，由圖 6.42 可以看出模式計算求出的臭氧等濃度線在東面相當密集，但是在離海邊較遠處濃度則很低，與實測高濃度區域不合，實際上風向只要再偏西南趨勢就會正確。由以上討論，我們認為此一案例在空間的分佈上，可能有些偏移，但一般而言其結果尚稱合理。





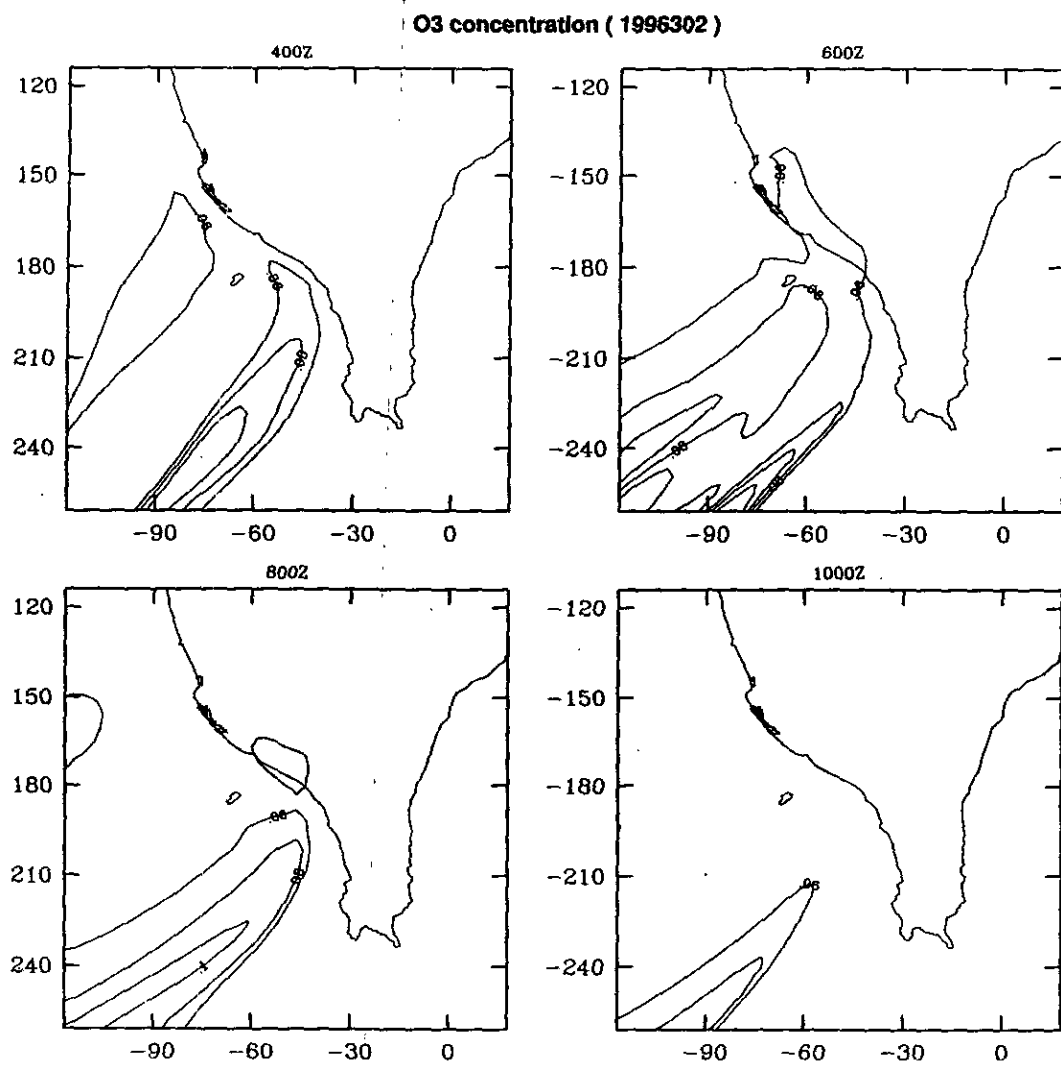


圖 6.40 1996 年 10 月 28 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈

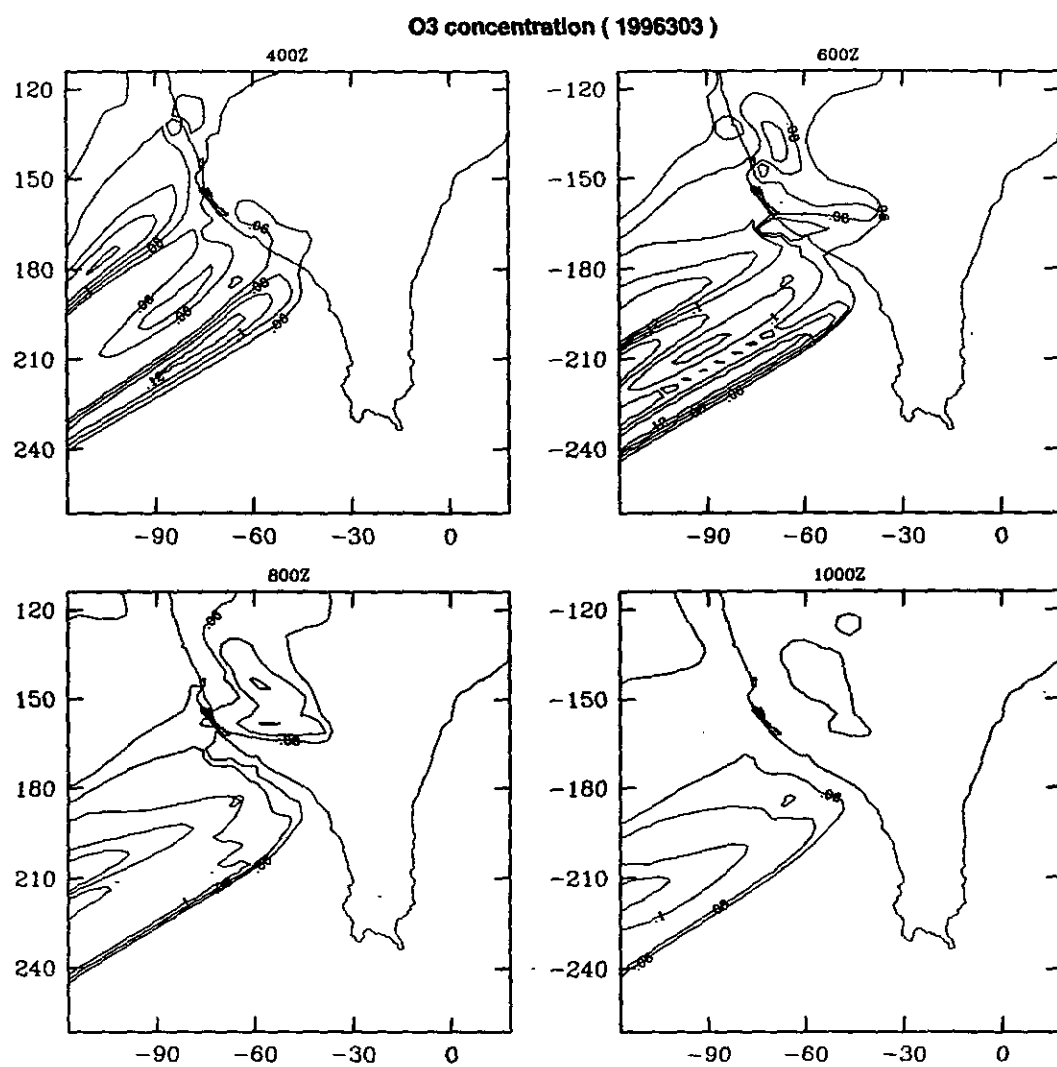


圖 6.41 1996 年 10 月 29 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈

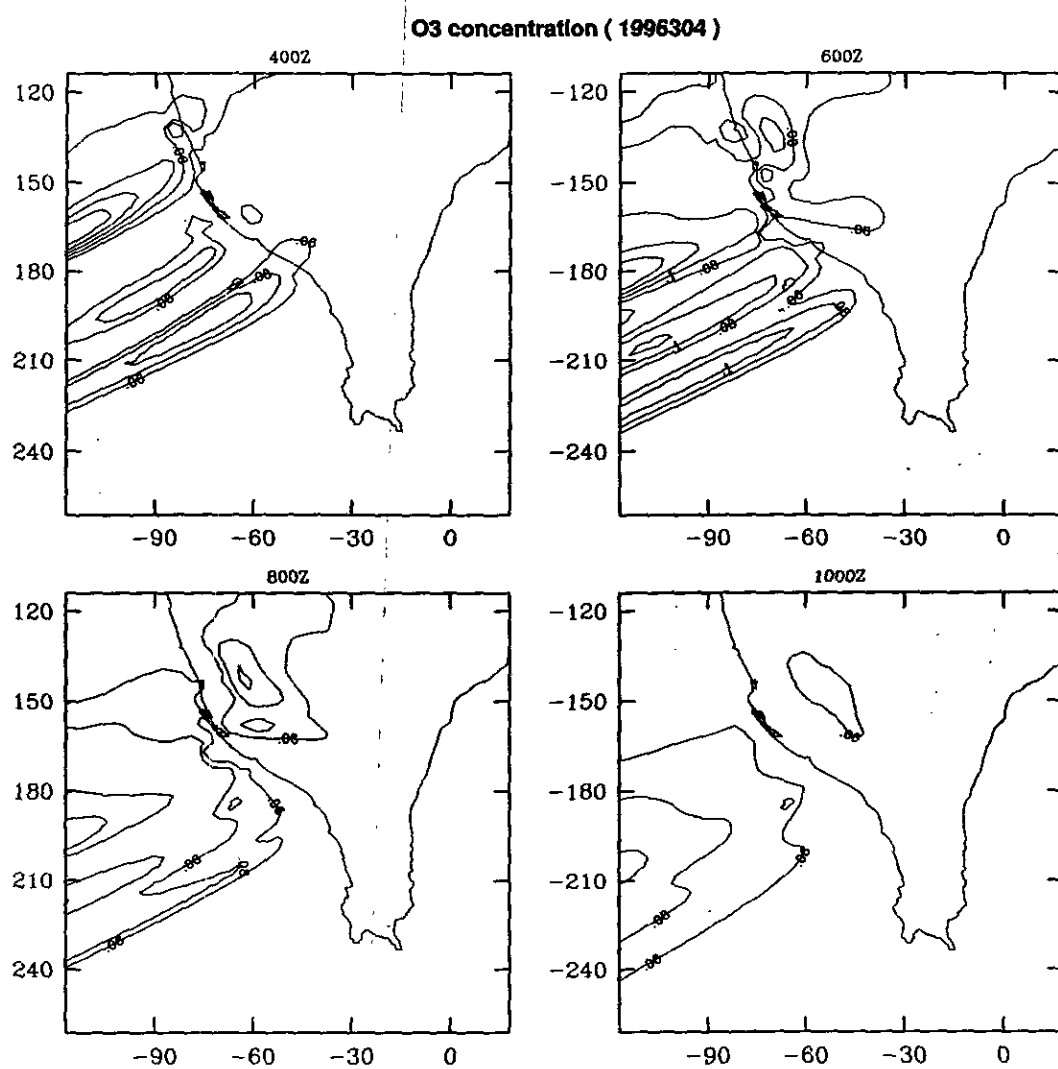


圖 6.42 1996 年 10 月 30 日模式計算出的南部地區地面臭氧濃度分佈

# O<sub>3</sub> concentration

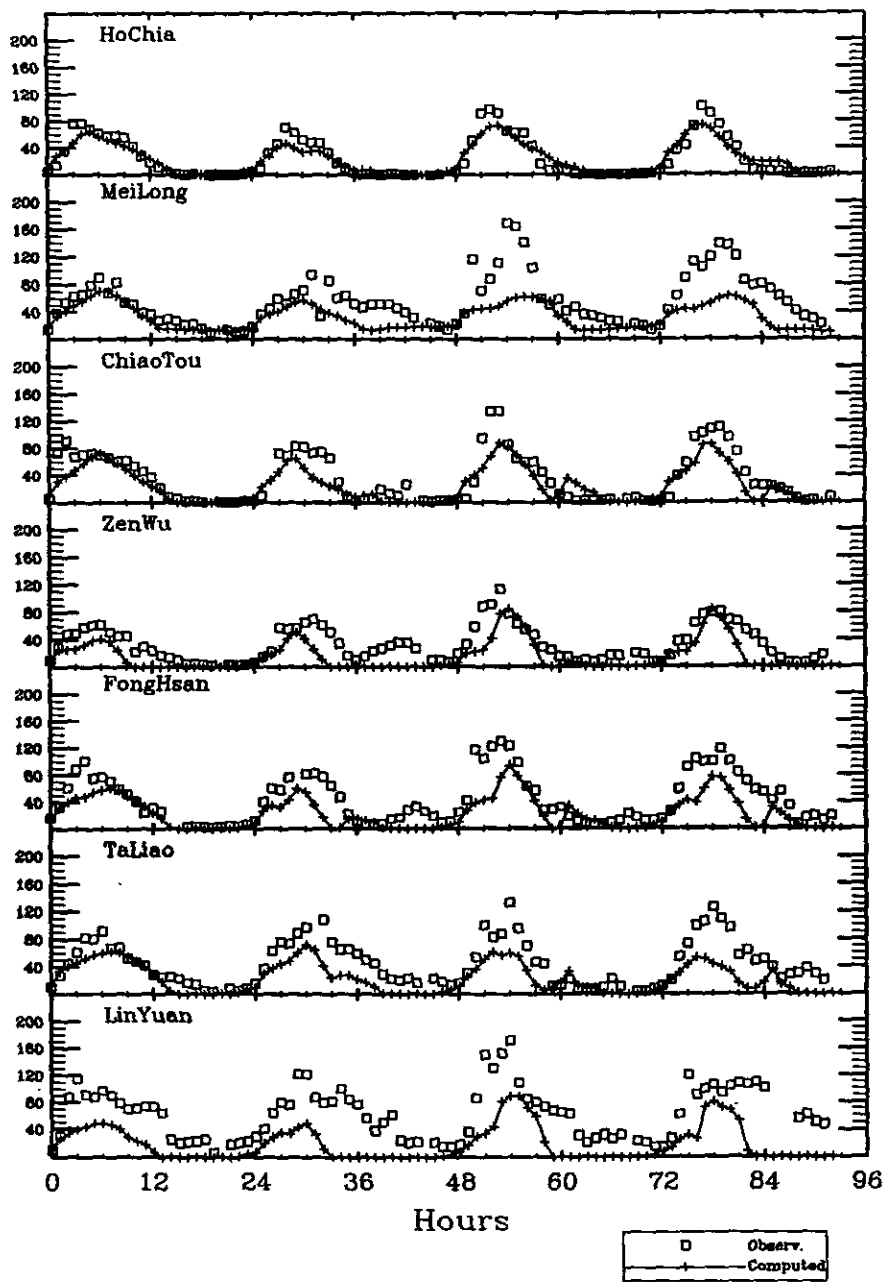


圖 6.43 南部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(一)

# O<sub>3</sub> concentration

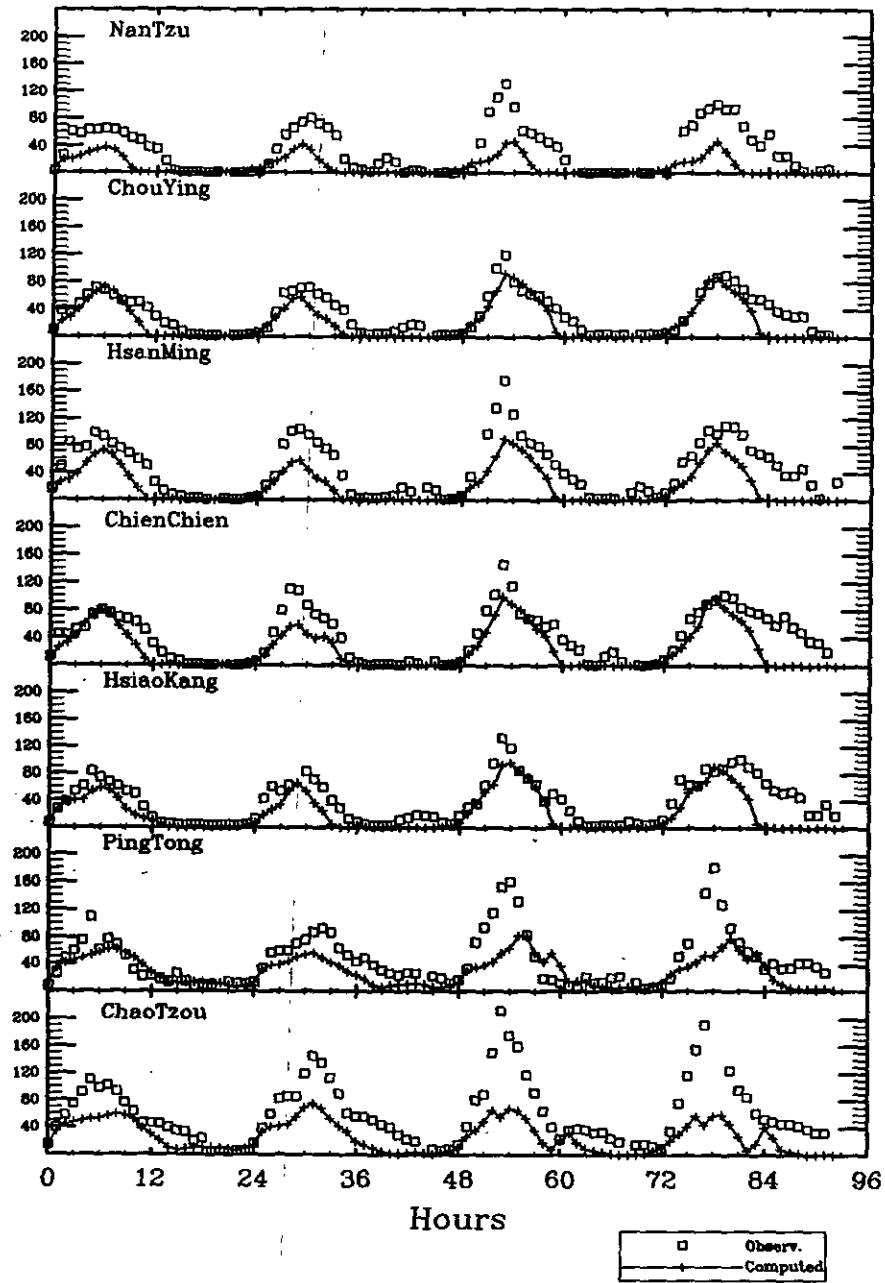


圖 6.44 南部地區案例二模式模擬地面臭氧濃度與監測記錄之比較(二)

圖 6.45 至圖 6.47 為南部地區案例二臭氧成因的分析。邊界條件對臭氧形成的影響在尖峰時段約 20ppb 至 30ppb；對低濃度的區域，此一影響因素很重要；但對高濃度的區域所佔比例較小。在此一個案中，生物源的影響還是相對較小，可能因為氣流由海面吹向陸地，而森林較多之山地位於下風位置所致。固定污染源貢獻的比率各地不同，但一般而言固定污染源貢獻的比率較移動污染源為高，而且固定污染源對臭氧的形成大都為 VOC 控制。移動污染源對臭氧的形成則 VOC 和  $\text{NO}_x$  之重要性不相上下；此一結果與北部地區相似，如果要減少臭氧的產生須減少移動污染源 VOC 和  $\text{NO}_x$  之排放。

圖 6.48 至圖 6.50 為南部地區案例二各縣市排放源對臭氧成因的影響分析，由這些圖上我們可以發現不同測站其污染物來源不同，視其所在位置而定。在高雄市北邊的區域主要來自台南縣和更北邊的縣市，而高雄市以南則主要來自南高屏本身排放，雖然如此在尖峰濃度時區域外縣市所排放的污染源仍會增加約 20ppb 的臭氧。

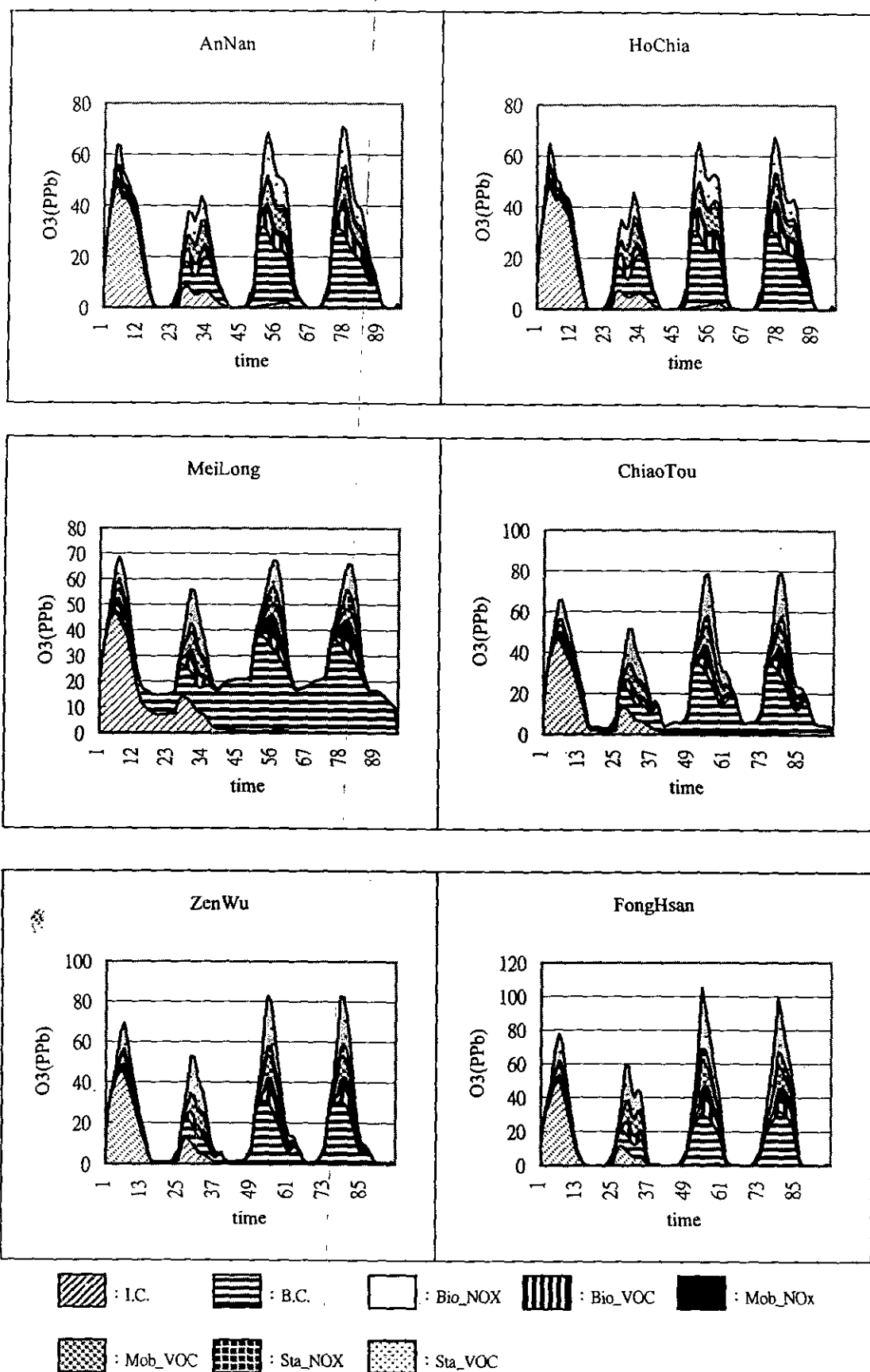


圖 6.45 南部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

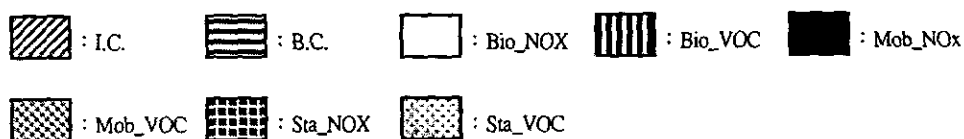
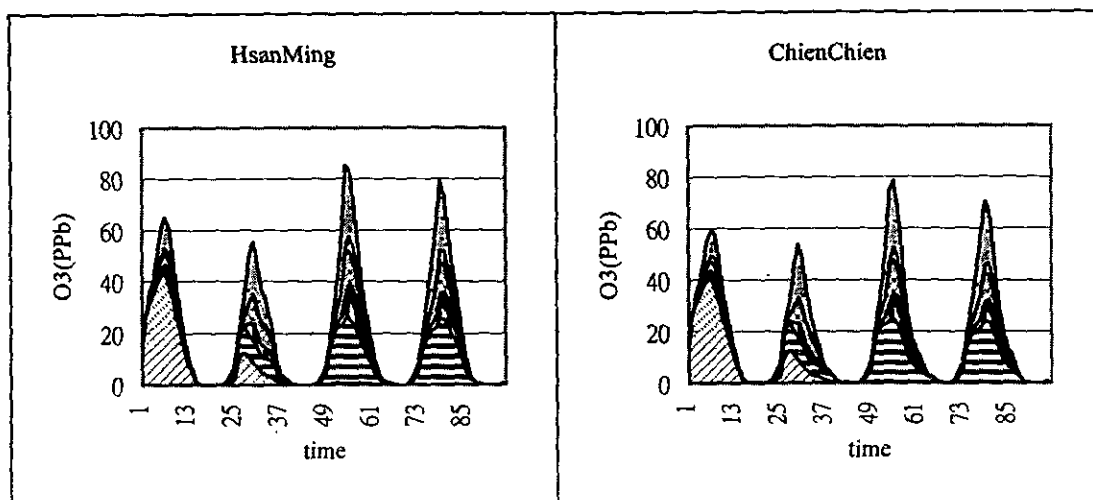
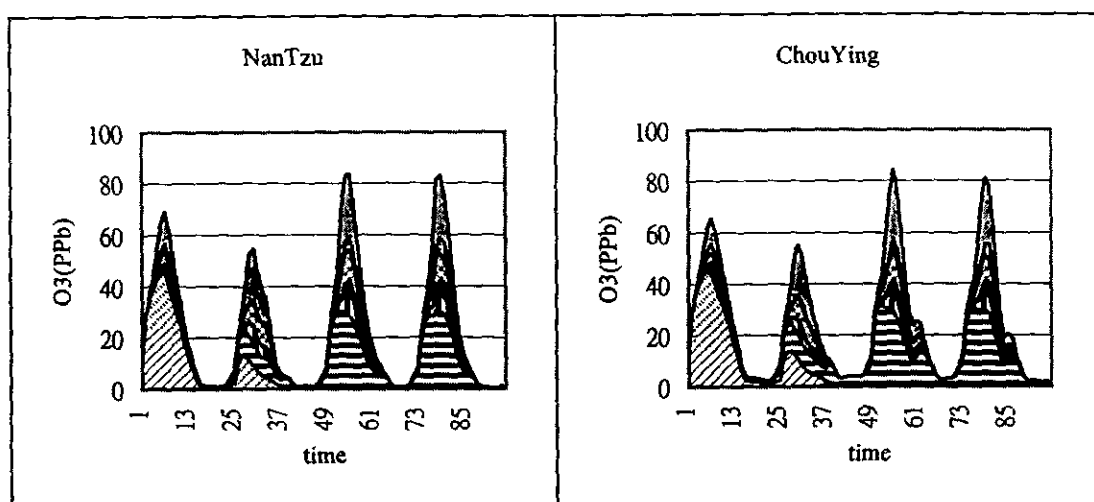
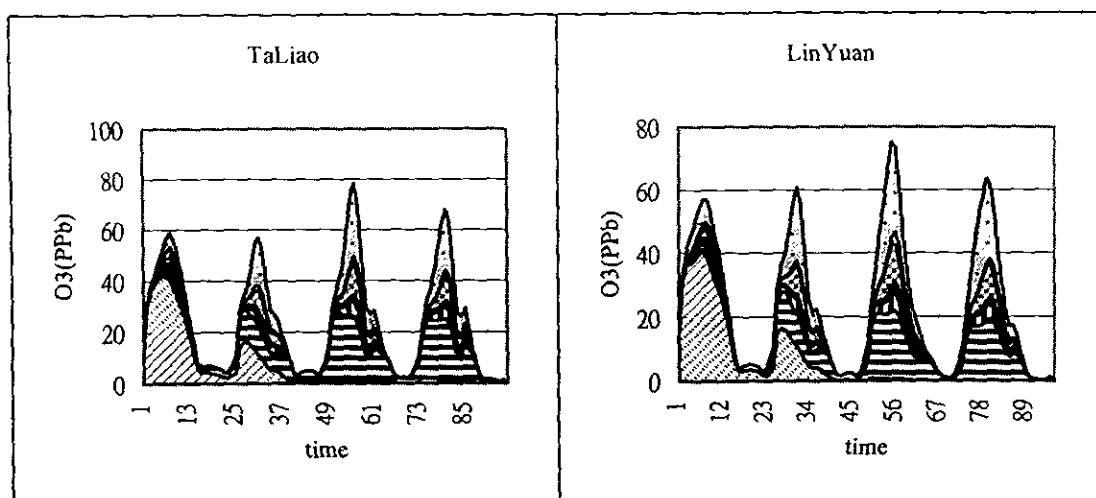


圖 6.46 南部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)



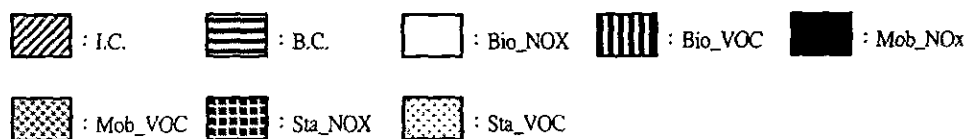
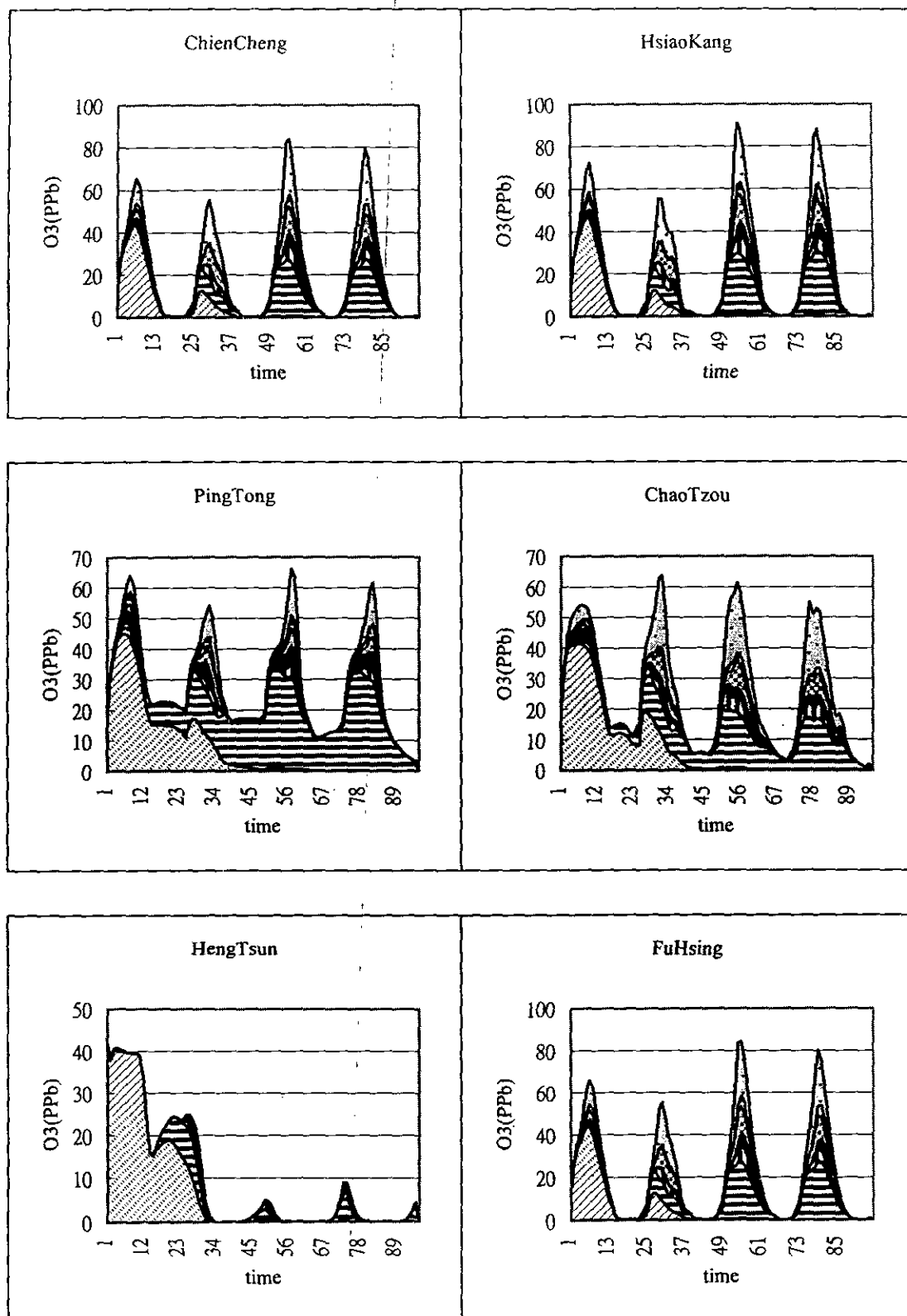


圖 6.47 南部地區案例二各類型之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

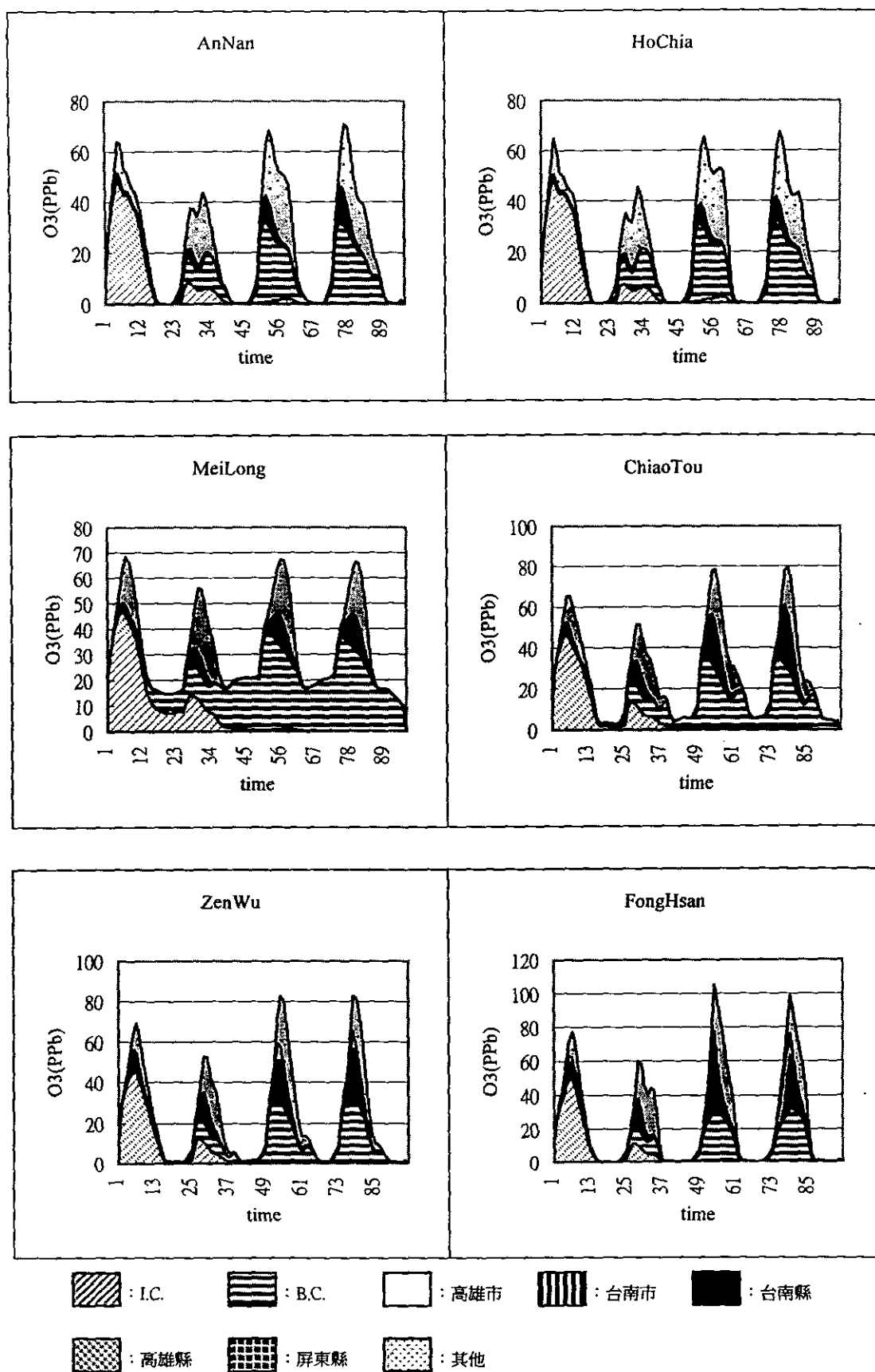


圖 6.48 南部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(一)

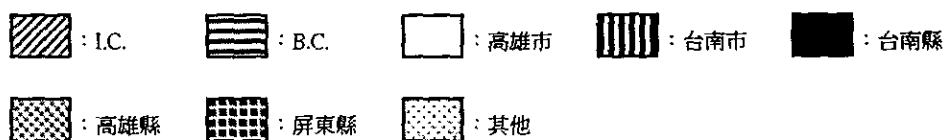
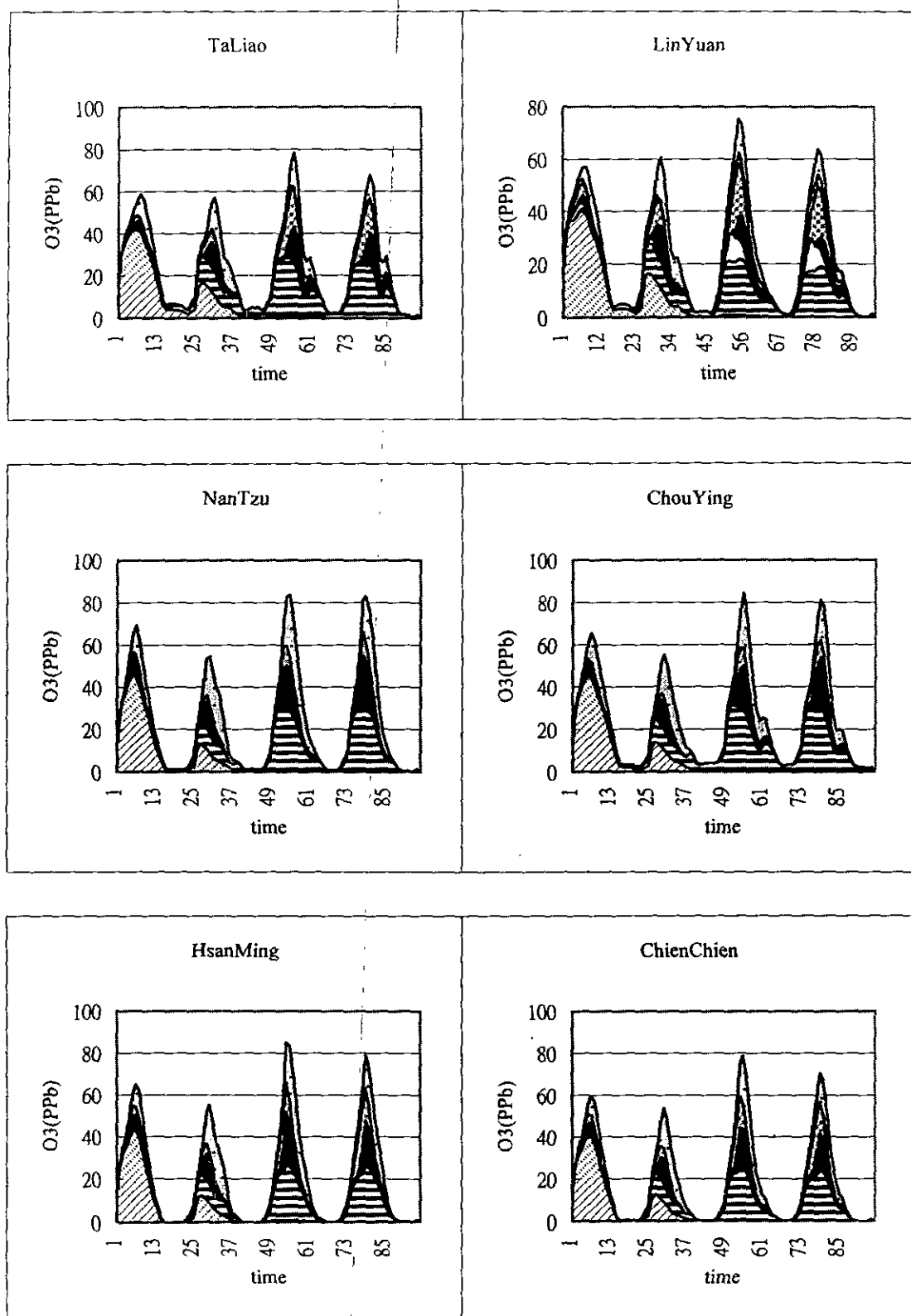


圖 6.49 南部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(二)

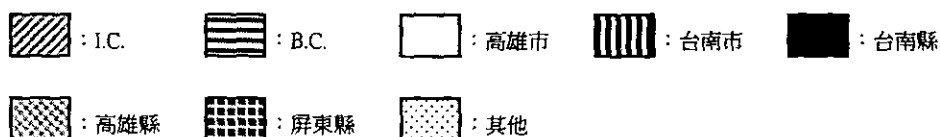
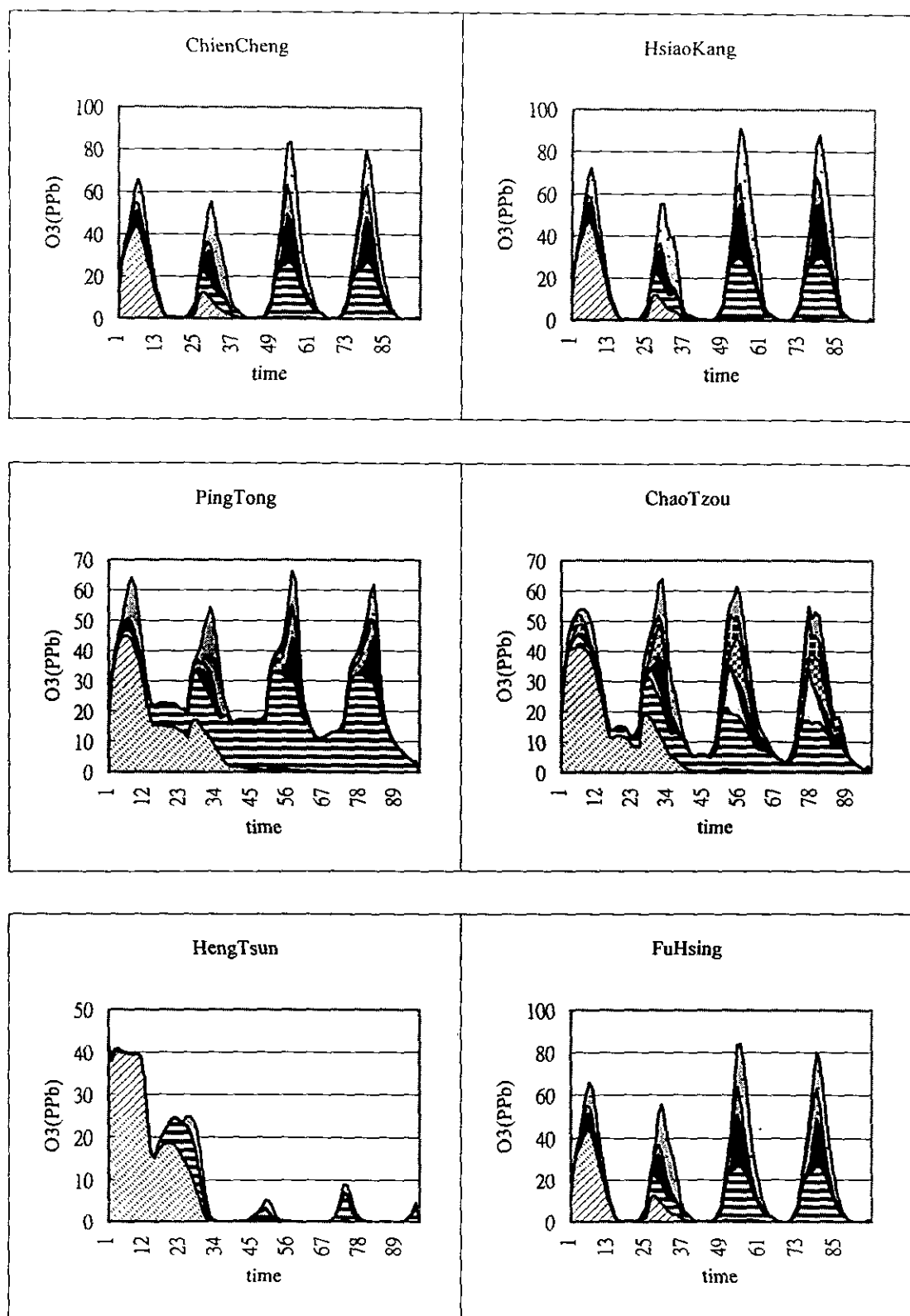


圖 6.50 南部地區案例二各縣市之污染源對臭氧濃度值的影響評估(三)

## 6.6 臭氧等濃度線分析

在過去之研究中，常用臭氧等濃度線圖(isopleth)來探討 VOC 及  $\text{NO}_x$  之排放量對最高臭氧濃度之影響，要繪制此圖必須改變 VOC 及  $\text{NO}_x$  的排放量，進行多次光化學污染模擬，求出各條件下尖峰臭氧濃度值，然後以 VOC 排放量為橫軸， $\text{NO}_x$  排放量為縱軸，繪出尖峰臭氧濃度的等值線，圖 6.51 為一典型的臭氧等濃度線圖。由此一圖上可以看出，當 VOC 排放量固定時，在下方之區域降低  $\text{NO}_x$  的排放量可以降低臭氧的濃度，然而在上方之區域降低  $\text{NO}_x$  的排放量卻會增加臭氧的濃度，我們可以定義臭氧等濃度線圖的脊線(ridge)為 VOC 排放量固定時所能得到的最高臭氧濃度。在脊線上方，降低  $\text{NO}_x$  的排放量反而會增加臭氧的濃度，只有降低 VOC 的排放量才能降低臭氧濃度，此一區域稱為 VOC 限制區(VOC-limited)；而在脊線下方，則降低 VOC 及  $\text{NO}_x$  皆可降低臭氧的濃度，不過通常降低 VOC 排放量對改善臭氧濃度值影響較小，而降低  $\text{NO}_x$  排放量卻可大幅度降低臭氧濃度值，此一區域稱為  $\text{NO}_x$  限制區( $\text{NO}_x$ -limited)。由此種等濃度線圖可以看出臭氧到底是 VOC 限制或  $\text{NO}_x$  限制，並據以擬定管制策略。

臭氧等濃度線圖早期大都用於 EKMA 模式，目前計算機的計算速度大幅提升，因此也廣泛地用於尤拉三維光化學模式。不同研究中，臭氧等值線的繪制方法略有不同，在此一研究中我們採用的方法和假設如下：

所謂排放比率為實際排放量與 1996 年排放量的比值，此一研究假設整個台灣地區的人為污染源(包括固定源和移動源)之 VOC 及  $\text{NO}_x$  之排放量皆隨排放比率而改變，然而生物源排放量則都不加改變，此與過去台灣地區的一些研究略有不同，以南高屏地區減量計劃為例，該計畫之減量只考慮南高屏地區；而本計畫則假設全島採用同一減量比率。

排放量改變對臭氧之尖峰濃度值和發生地點都會改變，在本計畫中，我們求出該日模擬區域內網格點上最高濃度值加以計錄，並據以繪製等濃度線圖。

我們針對南北兩地 10 月 27 至 30 日進行探討，VOC 和  $\text{NO}_x$  排放比率為 0.025, 0.5, ..., 1.5，所以採用大於 1 的排放比率主要作為參考之用，每個地區總共進行 49 次計算，繪出臭氧等濃度圖，10 月 29 日和 30 日北部地區的臭氧等濃度線圖如圖 6.51 所示。

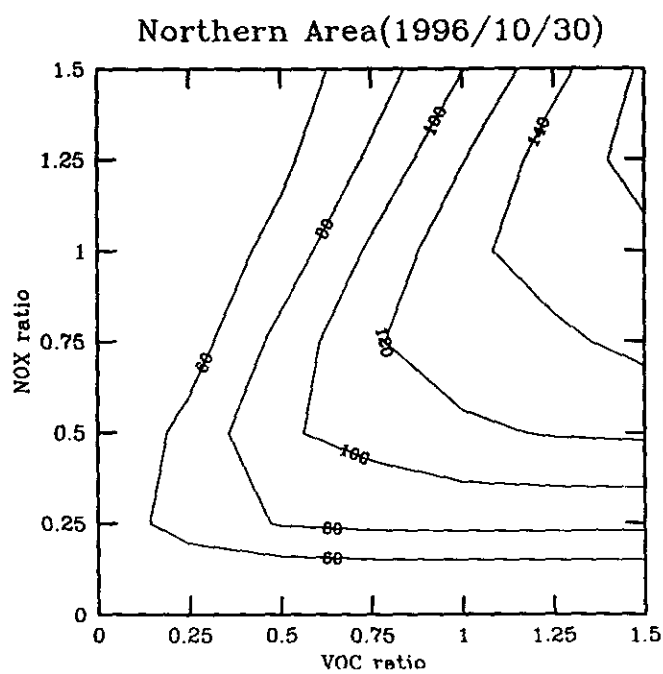
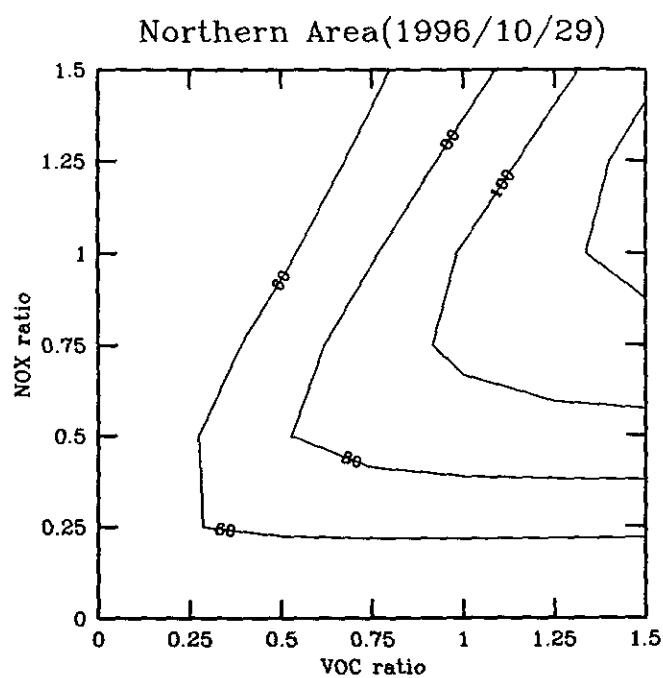


圖 6.51 10 月 29 日和 30 日北部地區的臭氧等濃度線圖

圖 6.51 之橫軸為 VOC 排放比率，縱軸為  $\text{NO}_x$  排放比率，臭氧濃度以 ppb 表示。10 月 29 日和 30 日不同之兩圖其變化趨勢相當接近，但 10 月 30 日之濃度值較高，兩圖中之脊線大約落在對角線附近，顯示在此一區域 VOC 及  $\text{NO}_x$  的減低比率接近時，對降低臭氧具有較大之效果。此一結果與前節利用臭氧來源分析法所求出的結論相符，因為北部區域移動污染源貢獻的比率較大，因此 VOC 和  $\text{NO}_x$  皆對臭氧的形成具有重要的影響。

本研究中人為污染物的排放量乃根據 TEDS 資料庫推求而出，如不修正此資料庫所求出之地面臭氧濃度將會偏低，為使計算值能接近監測值，所以在 6.2-6.5 節個案模擬中，我們將 VOC 的排放量放大為 TEDS 排放量的 1.5 倍(見 p6-1)，在此條件下北部地區臭氧濃度計算值與監測值接近，其結果可信度極高。在此一前題下，如要解決北部地區臭氧問題，將臭氧的尖峰濃度降低至 120ppb，則 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量應減少到 TEDS 排放量的 75% 左右。

圖 6.52 為南部地區的臭氧等濃度線圖，其變化趨勢與北部地區比較有很大不同，10 月 29 日和 30 日兩天，脊線皆位於在對角線下方，且斜率很低，顯示在此一區域目前的排放狀況為 VOC 限制，只有降低 VOC 的排放比率才能降低臭氧的尖峰濃度，如果降低  $\text{NO}_x$  的排放比率則會產生反效果增加臭氧的濃度。此一結論與 6.4、6.5 節，利用臭氧來源分析法所求出的結論相符；此一結論亦與南高屏地區減量計畫研究的結論相近(張等, 1999)。因為高雄為大工業都市，有許多火力發電廠、煉油廠、煉鋼廠，其  $\text{NO}_x$  排放量較大，如因此而形成  $\text{NO}_x$  控制並不足為奇。但我們模擬中也發現南部地區模擬結果較不理想，因此此一結論應再加仔細檢驗。我們也發現高臭氧濃度常產生於大點源下風區域，是否因點源近場處理方式不理想以致影響模擬結果，在此一研究中因為時間關係無法深入探討，有待未來仔細分析。

由圖上可以看出降低 VOC 濃度值可以減少臭氧的尖峰濃度，我們如將圖 6.52 與張等之等值線圖比較，可以發現兩者有很大不同。張之研究中將高屏地區 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量完全去除，還會產生高於 100ppb 的臭氧；在此一研究中我們假設全台灣採用相同的減量比率，當人為污染完全去除時，臭氧的最高濃度在 40ppb 左右，此值與邊界條件之假設值接近，顯示此一結果較為合理。

由圖 6.52 可以看出高屏地區如將 VOC 排放量應減少到 TEDS 排放量的 75% 左右，則可將臭氧的尖峰濃度降低至 120ppb。

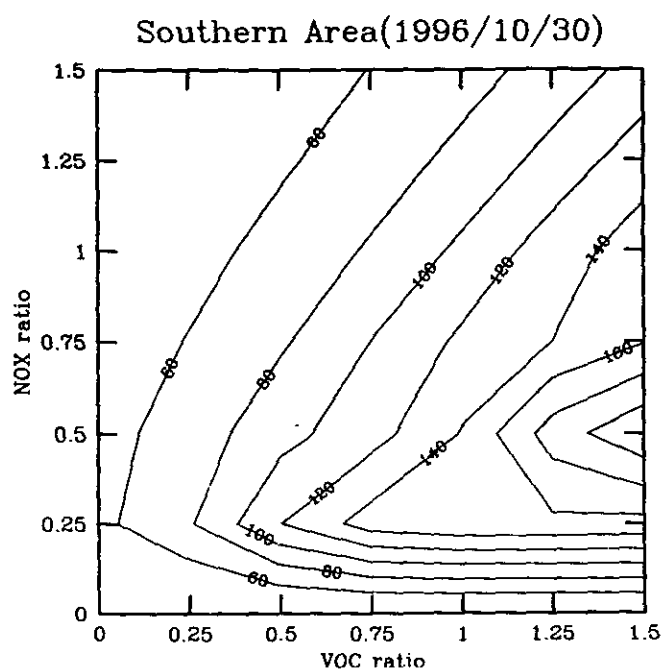
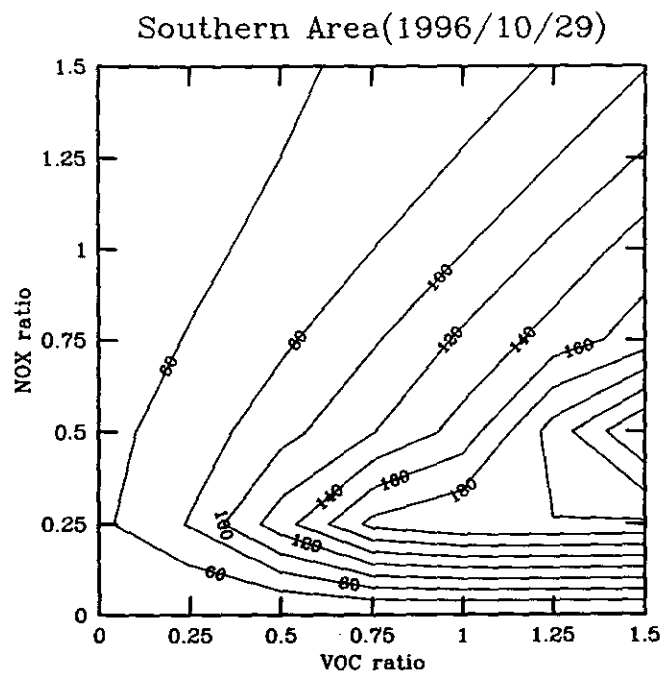


圖 6.52 10 月 29 日和 30 日南部地區的臭氧等濃度線圖



## 第七章 結論與建議

本計畫利用民國 86 年的空氣品質監測資料，針對台北地區及高屏地區各挑選兩個高臭氧事件，然後利用空氣品質模式進行模擬，以了解臭氧前趨物質對臭氧濃度的影響。除此主要目標外，我們也對相關的課題，如：氣象模擬、生物源排放量推估、模式適用性等，進行必要的探討。

此一計畫主要的結論包括：

由空氣品質監測資料篩選臭氧事件日，結果發現北部臭氧事件日大都發生於五月到十月間，而南部則發生於三月至十二月，但以十月十一月發生頻率最高。南部地區在秋季才發生高臭氧事件與台灣特殊的地形和氣象有關，由氣象模擬可以看出在秋季當東北風盛行時，受到中央山脈的阻擋，在西南部的背風面會產生低壓的渦穴區；此區風速較低，如果天氣晴朗，產生明顯的海陸風，就容易在高屏地區陸上產生高臭氧。

利用 RAMS 中尺度氣象模式求出之風場和亂流場顯示，台灣地區光化學污染除受大尺度的天氣型態所影響外，局部的大氣環流(包括各種地形效應及不均勻熱所產生的海陸風、山谷風、熱島效應等)均對臭氧的形成有很大的影響。如果風場計算不正確，將臭氧濃度計算值與實測值比較會有很大差異。中尺度氣象模擬中土壤含水量之初始假設值對熱所產生的局部環流影響極大，目前採用試誤法求出較佳猜值，未來應採用其他較科學的方法。

此一計畫中以 FORTRAN 語言自行發展污染物排放模式，其中人為污染(包括點源、面源和移動污染源)資料取自中鼎資料庫，此一程式可配合所用之光化學模式進行污染物之時間、空間和物種分配，不過移動污染源之排放量沒法配合當時氣象條件求出，可能影響 VOC 的排放量，此一缺失有待未來改善。至於生物源則利用 AVHRR(advanced very high resolution radiometer)衛星遙測資料，決定台灣地區土地分類使用，然後配合排放係數求出生物源 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量。結果發現由人造衛星遙測資料分析求出土地使用情形，與林務局和中鼎公司的統計資料差異頗大，雖然如此，我們推估台灣地區生物源 VOC 排放量約為每年 40 萬公噸，此值低於中鼎的生物源排放量，與謝(1998)所求出之 414642 公噸/年接近。利用此種方法推估有其方便性，但未來宜就土地使用的正確性，

進行更深入的探討。

此一研究中，北部地區兩個案例模擬，將 TEDS 資料庫中 VOC 排放量乘 1.5 倍後進行模擬，結果相當合理，對各監測站進行時序列的比較時，監測值和模擬值非常吻合，對高臭氧濃度值之預測誤差均低於 10%。

南部地區兩個模擬案例所求出之地面臭氧濃度，在台南市、高雄市附近的模擬結果相當理響，與空氣品質測站之測值比較雖有低估，但誤差不大。然而在濃度很高的屏東、潮州一帶，模擬結果偏低許多，顯示污染物的傳輸模擬與實際情況有所不同，模擬結果污染物往陸地侵入深度較淺。我們曾懷疑誤差產生的原因與風場或污染物的排放量不儘正確有關，但經過多次改變結果仍不儘理想；目前我們推測誤差可能因為 plume in grid 的處理不好所造成，此仍有待證實與改進。

臭氧來源分析顯示生物源的影響還是相對較小，固定污染源和移動污染源貢獻的比率隨地點而異，而且固定污染源對臭氧的形成大都為 VOC 控制，移動污染源對臭氧的形成則 VOC 和  $\text{NO}_x$  之重要性不相上下；如果要減少臭氧的產生須減少移動污染源 VOC 和  $\text{NO}_x$  之排放。

臭氧來源分析也顯示污染物的傳輸不但跨縣市，還跨空品區。在擬定污染管制措施時最好能整體考量，以符合實際需求。此外，移動污染源的管制在實施上也以全島採用同一標準較為方便。

由臭氧等濃度線分析發現，台北地區排放情形位於等濃度線圖的脊線附近，因此降低 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量皆可有效地降低臭氧濃度。在高雄地區，模擬結果顯示排放現況位於 VOC 限制區，因此如降低  $\text{NO}_x$  的排放反而會增加臭氧的濃度，只有降低的排放量才能減少臭氧濃度。此一結果與上述臭氧來源分析吻合，與其他研究的結果也相近。

如要解決北部地區臭氧問題，須要將 VOC 和  $\text{NO}_x$  的排放量減少到 TEDS 排放量的 75% 左右；相對地，在高屏地區，如將 VOC 排放量應減少到 TEDS 排放量的 75% 左右，則可將臭氧的尖峰濃度降低至 120ppb。此一結論與南高屏計畫之結論有相當差異，本計畫結論較為樂觀，何者正確可行須進一步的辯證和探討。

此一研究顯示光化學污染模擬結果相當合理，但南部地區有些高濃度的預測則誤差較大，未來如能就次網格擴散(subgrid diffusion)加以改善，或可使模式的模擬結果更正確，所提出的管制措施將會更有說服力。

## 第八章 計畫成果應用可行性分析

本章逐項說明本研究之具體成果及其應用的可行性。

- (1) 發展程式將環保署空氣品質監測資料轉換成 NetCDF 格式，此一成果有利於資料查詢使用，有助於空氣品質監測資料統計分析、科學可視化、繪圖等各項工作。
- (2) 撰寫污染源排放模式，將 TEDS 資料處理成各種光化學模式所須之輸入資料，並利用 AVHRR 衛星遙測資料，求出生物源 VOC 和 NO<sub>x</sub> 的排放量。此一成果大幅減少準備空氣品質模式輸入資料的時間，避免人為錯誤，有助於光化學模擬作業化應用。
- (3) 利用不同於傳統的方法評估生物源排放量，提供結果比較的機會，本計畫所用方法較為簡單，未來宜思考如何再提高其正確性。
- (4) 撰寫 shell 程式，發展一套作業流程，利用 RAMS 模式進行氣象模擬，有助於光化學模擬作業化應用。
- (5) 探討風場及亂流場受地形效應及熱差異所產生的局部環流(海陸風、山谷風、熱島效應)的影響，為未來深入研究提供了具體的方向。
- (6) 利用 CAMX 模式進行光化學模擬，結果相當合理，累積的經驗，為未來空氣品質模式作業化打下了良好的基礎。本計畫開發了許多介面程式和後續繪圖程式，讓使用者可以很輕鬆地準備各種資料，採用自動化的流程，可以減少所須的人力資源。此一計畫後，台灣地區的光化學模擬將不再只是研究的工具，我們預期只要再加努力，不久就可利用光化學模式進行空氣品質預報或進而擬定緊急應變措施，將光化學模式作日常性、作業化的應用。
- (7) 本計畫中使用臭氧來源分析法，探討臭氧前趨物質對光化學污染的影響；分析各地點臭氧的形成原因，對未來擬定污染管制計畫提供了具體的參考資料。不過，我們覺得污染源排放資料庫和模式本身都應再加改善，作出更精確的模擬，才能建立一般民眾的信心；同時擬定污染管制策略還須考慮經濟、社會等各項因素，未來應利用模式計算結果，配合其他因素找出最佳方案。

- (8) 本計畫利用光化學模式的模擬結果繪製臭氧等濃度線圖，對未來擬定污染管制措施會有很大幫助；然而本計畫所求出的臭氧等濃度線圖與以前的研究結論有相當明顯的差異，在使用這些結果之前最好能再對此一問題作一些深入的分析。只有依靠大家都能接受的結論，才能提出有說服力的管制措施。

## 參考文獻

- Bott, A. 1989. A Positive Definite Advection Scheme Obtained by Nonlinear Renormalization of the Advective Fluxes. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 1006-1015.
- Businger, J.A., J.C. Wyngaard, Y. Izumi, and E.F. Bradley. 1971. Flux-profile relationship in the atmosphere surface layer. *J. Atmos. Sci.*, **28**, 181-189.
- Carter, W.P. 1990. A Detailed Mechanism for the Gas-Phase Atmospheric Reactions of Organic Compounds. *Atmos. Environ.*, **24A**, 481-518.
- Carter, W.P. 1996. Condensed Atmospheric Photooxidation Mechanisms for Isoprene. *Atmos. Environ.*, **30**, 4275-4290.
- Chang, J.S., R.A. Brost, I.S.A. Isaksen, S. Madronich, P. Middleton, W.R. Stockwell, and C.J. Walcek. 1987. A Three-dimensional Eulerian Acid Deposition Model: Physical Concepts and Formulation. *J. Geophys. Res.*, **92**, 14,681-14,700.
- Chen, C. and W.R. Cotton. 1983. A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, **25**, 289-321.
- Clark, T.L., and R.D. Farley. 1984. Severe downslope windstorm calculations in two and three spatial dimensions using anelastic interactive grid nesting: A possible mechanism for gustiness. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 329-350.
- Clark, T.L., and W.D. Hall. 1991. Multi-domain simulations of the time dependent Navier-Stokes equations: Benchmark error analysis of some nesting procedures. *J. Comput. Phys.*, **92**, 456-481.
- Cotton, W.R., M.A. Stephens, T. Neuhirn, and G.J. Tripoli. 1982. The Colorado State University three dimensional cloud/mesoscale model -1982. Part II: An ice phase parameterization. *J. de Rech. Atmos.*, **16**, 295-320.
- ENVIRON International Co., 1997, User's Guide to the Comprehensive Air Quality Model with Extensions(CAMx), Novato, CA.
- Geron, C.D., Guenther, A.B., and Pierce, T.E. 1994. An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States. *J. Geophys. Res.*, **99**, 12773-12791.
- Gery, M.W., G.Z. Whitten, J.P. Killus, and M.C. Dodge. 1989. A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling. *J. Geophys. Res.*, **94**, 925-956.
- Guenther, A. 1997. Seasonal and Spatial variations in natural volatile organic compound emissions. *Ecological Applications*, **7**, 34-45.
- Guenther, A., Zimmerman, P., and Wildermuth, M. 1994. Natural volatile organic compound emission rates estimates for U.S. woodland landscapes. *Atmos. Environ.*, **28**, 1197-1210.
- Helfand, H.M., and J.C. Labraga. 1988. Design of a nonsingular level 2.5 second-order closure model for the prediction of atmospheric turbulence. *J. Atmos. Sci.*, **45**, 113-132.
- Jang, J.C., Jeffries, H.E., and S. Tonnesen. 1995. Sensitivity of ozone to model grid resolution - II Detailed process analysis for ozone chemistry, *Atmos. Environment*, **29**, 3101-3114.
- Jeffries, H.E. 1984. A photochemical reaction mechanism analysis method applied to two mechanism. Dept. of Environ. Sci. and Engr., University of North Carolina at Chapel Hill, NC

- Kinnee, E., Geron, C., and Pierce, T. 1997. United States land use inventory for estimating biogenic ozone precursor emissions. *Ecological Application*, 7, 46-58.
- Klemp, J.B. and D.K. Lilly. 1978. Numerical simulation of hydrostatic mountain waves. *J. Atmos. Sci.*, 35, 78-107.
- Kondrat'yev, J. 1969. *Radiation in the Atmosphere*. Academic Press, New York.
- Kumar, N. and A. G. Russell. 1996. Development of a Computationally efficient, Reactive Sub-Grid-Scale Plume Model and the Impact in the Northeastern United States Using Increasing Levels of Chemical Detail. *J. Geophys. Res.*, 101, 16,737-16,744.
- Kuo, H.L. 1965. On the formation and intensification of tropical cyclones through latent heat release by cumulus convection. *J. Atmos. Sci.*, 22, 40-63.
- Kuo, H.L. 1974. Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci.*, 31, 1232-1240.
- Lacis, A.A., and J. Hansen. 1974. A parameterization for the absorption of solar radiation in earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, 31, 118-133.
- Lamb, B., Gay, D., Westburg, H., and Pierce, T. 1993. A biogenic hydrocarbon emission inventory for the U.S. using a simple forest canopy model. *Atmos. Environ.*, 27A, 1673-1690.
- Lambert, J. D. 1973. *Computational Methods in Ordinary Differential Equations*. John Wiley and Sons Ltd. New York.
- Louis, J.F. 1979. A Parametric Model of Vertical Eddy Fluxes in the Atmosphere. *Bound. Lay. Meteor.* 17, 187-202.
- Mahrer, Y. and R.A. Pielke. 1977. A numerical study of the airflow over irregular terrain. *Beitrage zur Physik der Atmosphere*, 50, 98-113.
- Maul, P.R. 1980. Atmospheric Transport of Sulfur Compound Pollutants. Central Electricity Generating Board, MID/SSD/80/0026/R, Nottingham, England.
- McCumber, M.C. and R.A. Pielke. 1981. Simulation of the effects of surface fluxes of heat and moisture in a mesoscale numerical model. Part I: Soil layer. *J. Geophys. Res.*, 86, 9929-9938.
- Mellor, G.L., and T. Yamada. 1974. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *J. Atmos. Sci.*, 31, 1791-1806.
- Mellor, G.L., and T. Yamada. 1982. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20, 851-875.
- Mesinger, F. and A. Arakawa. 1976. Numerical methods used in atmospheric models. GARP Publication Series, No. 14, WMO/ICSU Joint Organizing Committee, 64 pp.
- Muller, J.-F. 1992. Geographical distribution and seasonal variation of surface emission and deposition velocities of atmospheric trace gases. *J. Geophys. Res.*, 97, 3787-3804.
- Orlanski, I. 1976. A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. *J. Comput. Phys.*, 21, 251-269.
- Pielke, R. A. 1984. *Mesoscale Meteorological Modeling*, Academic Press.
- Rodgers, C.D. 1967. The use of emissivity in atmospheric radiation calculations. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 93, 43-54.
- Schmel, G.A. 1980. Particle and Gas Deposition, a Review. *Atmos. Environ.*, 14, 983-1011.
- Seinfeld, J.H., 1988, Air quality models: A critical review, *J. Air Pollution Control Assoc.*, 38, 616-645.
- Seinfeld, J.H., and S.N. Pandis. 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics, From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley and Sons, Inc., NY.
- Sillman, S. 1995. The Use of NO<sub>y</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, and HNO<sub>3</sub> as Indicators for Ozone -

- Nox-Hydrocarbon Sensitivity in Urban Locations. *J. Geophys. Res.*, **100**, 14,175-14,188.
- Smagorinsky, J. 1963. General Circulation Experiments with the Primitive Equations: I. The Basic Experiment. *Mon. Wea. Rev.*, **91**, 99-164.
- Smolarkiewicz, P.K. 1983. A Simple Positive Definite Advection Scheme with Small Implicit Diffusion. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 479-486.
- Stephens, G.L. 1977. The transfer of radiation in cloudy atmosphere. Ph.D. Thesis. Meteorology Department, University of Melbourne.
- Stephens, G.L. 1978. Radiation profiles in extended water clouds. *Webster Theory. J. Atmos. Sci.*, **35**, 2111-2122.
- Stockwell, W.R., Middleton, P., Chang, J.S., and X.Tang. 1990. The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling. *J. Geophys. Res.*, **95**, 16343-16368.
- Tremback, C.J. and R. Kessler. 1985. A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical models. Preprints, 7th Conference on Numerical Weather Prediction, 17-20 June 1985, Montreal, Canada, AMS.
- Tremback, C.J., G.J. Tripoli, and W.R. Cotton. 1985. A regional scale atmospheric numerical model including explicit moist physics and a hydrostatic time-split scheme. Preprints, 7th Conference on Numerical Weather Prediction, June 17-20, 1985, Montreal, Quebec, AMS.
- Tripoli, G.J., and W.R. Cotton. 1982. The Colorado State University three-dimensional cloud/mesoscale model -1982. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments. *J. de Rech. Atmos.*, **16**, 185-220.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1986. Guideline on Air Quality Models (revised), EPA450/2-78-027R, USEPA, Research Triangle Park, NC.
- U.S. EPA. 1992. User's Guide for the Urban Airshed Model, Vol. 4, User's Manual for the Emission Preprocessor System 2.0, PB93-122380.
- U.S. EPA. 1995. Urban Airshed Model (UAM) Biogenic Emission Inventory System, Ver. 2, (BEIS2) User's Guide. RTP, NC
- U.S.EPA. 1998. EPA Third-Generation Air Quality Modeling System, Models-3 Vol. 9b, User Manual, EPA-600/R-98/069(b), RTP, NC
- USEPA. 1990. User's Guide for the Urban Airshed Model-Volume I; User's Manual for UAM(CB-IV). U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-450/4-90-007a.
- USEPA. 1995. A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, EPA-454/B-95-006.
- Wang, S.W. 1998. Observational and Mechanistic Studies of Tropospheric Ozone/Precursors Relationships. Ph.D. Dissertation, Rutgers University, New Brunswick, N.J.
- Wesely, M.L. 1989. Parameterization of Surface Resistances to Gaseous Dry Deposition in Regional-Scale Numerical Models. *Atmos. Environ.*, **23**, 1293-1304.
- Yamamoto, G. 1962. Direct absorption of solar radiation by atmospheric water vapor carbon dioxide and molecular oxygen. *J. Atmos. Sci.*, **19**, 182-188.
- 何俊和，1999，台灣北部高臭氧來源分析初探，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文。
- 吳俊傑等，1999，南高屏地區空氣污染總量管制規畫-D1子計劃：MM5氣象模式模擬及觀測資料驗證期末報告，EPA-88-FA21-03-0012，台北市。

- 林沛練等，1999，南高屏地區空氣污染總量管制規畫－D2 子計劃：MM5 氣象模式模擬及四維同化期末報告，EPA-88-FA21-03-0012，台北市。
- 林秀娟，1997，UAM 模式應用於台灣北部地區之可行性研究，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文。
- 林茂原，1990，台灣北部地區光化學污染數值模擬，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文。
- 張良輝等，1999，南高屏地區空氣污染總量管制規畫－E4 子計劃：台灣空氣品質模式(TAQI)空氣污染事件之應該與特徵解析期末報告，EPA-88-FA21-03-0012，台北市。
- 張能復、曹志宏，1998，以光化學反應性軌跡模式檢討 MIR 指標應用於台灣臭氧前驅物排放減量的效果，第十五屆空氣污染控制技術研討會論文集 pp. 1-9，中央大學。
- 莊韻霖，1998，台灣北部光化學控制策略之初步研究，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文。
- 蔡哲慧，1998，中尺度氣象模式與醇步模式應用於大氣擴散之研究，淡江大學水資源及環境工程研究所碩士論文。
- 謝祝欽、王麗婷，1998，自然源揮發性有機物現場觀測與排放量推估之研究，國立雲林科技大學環安所碩士論文。



## 附錄 A RAMS 模式簡介

此一研究所用的 RAMS 模式之版本為 3b，本附錄中將對模式所用的制御方程式和各種參數化方法作一介紹。由於 RAMS 模式對各個計算模組均提供多種選項，在此一報告中只就本計畫所用的方法加以介紹。

### A.1 RAMS 之制御方程式

此一研究所用之制御方程式為可壓縮、非靜力(non-hydrostatic)，包括下列方程式：

#### 1. 運動( motion)方程式：

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= -\theta \frac{\partial \pi}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial x} (K_m \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_m \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_m \frac{\partial u}{\partial z}) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= -\theta \frac{\partial \pi}{\partial y} - fu + \frac{\partial}{\partial x} (K_m \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_m \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_m \frac{\partial v}{\partial z}) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= -\theta \frac{\partial \pi}{\partial z} - g \frac{\theta_v}{\theta_0} + \frac{\partial}{\partial x} (K_m \frac{\partial w}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_m \frac{\partial w}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_m \frac{\partial w}{\partial z})\end{aligned}$$

#### 2. 質量連續方程式：

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = -\frac{R\pi_0}{c_v \rho_0 \theta_0} \left( \frac{\partial \rho_0 \theta_0 u}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 w}{\partial z} \right)$$

#### 3. 熱力方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} + u \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} + w \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} (K_m \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_m \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_m \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z}) \\ &+ \left( \frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} \right)_{rad}\end{aligned}$$

#### 4. 水氣質量守恆方程式

$$\frac{\partial r_n}{\partial t} + u \frac{\partial r_n}{\partial x} + v \frac{\partial r_n}{\partial y} + w \frac{\partial r_n}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (K_m \frac{\partial r_n}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_m \frac{\partial r_n}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_m \frac{\partial r_n}{\partial z})$$

各變數所代表的含義為：

$u, v, w$  : 三個方向的速度分量

$f$  : 柯氏力參數

$K_m$  : 動量之渦流黏滯係數

$K_h$  : 熱量和氣水之渦流黏滯係數

$\theta_{il}$  : 冰-液態水之位溫

$r_n$  : 總水(total water)、雨(rain)、(pristine)、冰晶(crystal)、aggregates、雪(snow)

之混合比

$\rho$  : 密度

$g$  : 重力加速度

$r_t$  : 總水混合比

$r_v$  : 水蒸氣混合比

$\pi$  : 總 Exner 函數

$\pi'$  : Exner 函數擾動量

$\theta_v$  : 虛位溫

$p$  : 壓力

$con$  : 對流參數化之驅勢

$rad$  : 輻射參數化之驅勢

$res$  : 微物理參數化之驅勢

氣壓預報以 exner function( $\pi$ )來表示， $\pi$  定義成：

$$\pi = C_p \left( \frac{P}{P_{00}} \right)^{\frac{R}{C_p}}$$

其中  $C_p$  為乾空氣之定壓比熱， $P_{00}$  為 1000Pa， $R$  為乾空氣氣體常數。

## A.2 網格結構

RAMS 所用的網格為標準的 Arakawa C 網格(Mesinger and Arakawa, 1976)。所有的熱力、水氣變數均定義於網格中心，而速度分量則定義於其垂直向 1/2 網格處。這樣的安排有許多好處，包括速度分量的位置相對於熱動力變數的位置為等熵(isotropy)，此點對質量和通量的守恒相當重要。

在水平方向採用 polar stereographic 投影法，投影中心位於最粗網格的中心位置，使用此種方法可以減少模式網格間距和實際距離間的扭曲，如果模擬範圍較小，水平的網格結構將與直角座標系統或 UTM 系統接近。

在垂直向採用 sigma-z 的座標系統，此種方法與 sigma-p 座標系統比較，其優點為在整個模擬期間模式的格點至地面的高度皆保持固定，理論上可用於非常細的水平網格。

RAMS 使用的網格巢狀化技術是由 Clark and Farley(1984)、Clark and Hall(1991)所發展的雙向影響(two-way interaction)技術，此一技術首先更新粗網格的解答，然後利用三次多項式進行空間插值，求出較細網格邊界上的值，並將其設定為邊界條件；利用此一邊界條件，求解更新後的細網格的值，當細網格計算到與粗網格相同時間時，再用細網格的平均值把粗網格內的值加以覆蓋掉；在計算過程中，均仔細檢查以確保在網格介面上的質量和動量守恆。RAMS 可使用無限多層網格，具有平行及垂直兩種巢狀網格。

### A.3 數值方法

RAMS 有數種基本時間差分操作方式，對非靜力模式採用前向後向一階演算法(forward-backward first order scheme)、跳蛙法(leapfrog scheme)或混合法(hybrid scheme)，而靜力模式採用前向後向法。所有上述演算法均採用時間分割(time-split)法，以處理較快速傳遞的聲波項；此一演算法降低真正的聲波傳遞速度，並以較小的時間步階計算快速傳播的聲波項。(Tripoli and Cotton, 1982; Tremback et al., 1985)。此一研究採用混合法，即速度和壓力項採用跳蛙法，其他變數則使用前向差分法。

對流項差分有兩種選擇，即 leapfrog 和 forward-upstream。對流項的演算採用通量守恆型式(flux conservative mode)，以便質量動量和能量能維持守恆。

### A.4 亂流參數化

在大氣邊界層內，氣流通常為亂流。如果採用 Reynold 分解法，將瞬時速度或純量分為平均值和擾動值，則制御方程式中將產生二次相關項如  $\overline{u_i u_j}$  或  $\overline{u_i \phi}$  等。如此一來未知數將比方程式的數目還多，必須利用適當的假設加以閉合才能求解，這就是所謂的亂流閉合問題(turbulent closure)。

在 RAMS 3b 中亂流閉合採用 K 理論(K-theory)，對純量採用下列公式：

$$\overline{u_i \phi} = -K_{hi} \frac{\partial \phi}{\partial x_i}$$

其中  $K_{hi}$  為  $i$  方向的渦流混合係數(eddy mixing coefficient)。

對速度分量，則視網格之大小可以有兩種選擇，當水平網格間格與垂直網格間格相近時，對流運動可獲得解析(resolvable)，雷諾應力可以用下式計算：

$$\overline{u_i u_j} = -K_{mi} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

上式中  $K_{mi}$  為渦流黏滯係數，此時假設  $K_{mi} = K_{mj}$ ，即  $\overline{u_i u_j} = \overline{u_j u_i}$ 。當水平網格間格比垂直網格大很多時，對流運動無法顯現出來，雷諾應力在垂直和水平方向並不對稱，因此垂直擴散係數可以下式計算

$$\overline{u_i u_j} = -K_{mi} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

在 RAMS 中提供四種方法以計算  $K_{mi}$  和  $K_{hi}$ ，此處我們介紹如何以 TKE 法求出其值。

TKE 是用來估算渦流混合係數(eddy mixing coefficients)，當水平網格尺度很大時，可使用 Mellor and Yamada(1974)法來計算垂直混合係數(vertical mixing coefficients)，並使用局部變形法來計算水平混合係數(horizontal mixing coefficients)。Mellor and Yamada 亂流參數法是總體閉合的(ensemble closure)，其假設 Reynold's-averaged flow 無法解析對流(convection)，所以利用參數化的對流項來決定垂直傳輸。當水平網格尺度很小，可使用 Deardorff (1980)法，此法將可解析對流運動。此法是次網格閉合，只有對小於“可解析尺度”的渦流之運動作參數化。並且假設可解析的運動能進行大部分的亂流傳輸，此法可利用在水平和垂直方向上。

Mellor 和 Yamada(1974, 1982)發展的所謂“2.5 level”閉合方法是修改自 Helfand and Labraga (1988)，其風場、位溫( $\theta$ )和亂流動能( $e$ )由 RAMS 預測場提供。此法主要根據預報方程式在氣象模式中求解出亂流動能。

定義亂流動能(TKE)， $e$ ，如下：

$$e = 0.5(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$$

預報方程式  $e$  表示成：

$$\frac{\partial e}{\partial t} = -u \frac{\partial e}{\partial x} - v \frac{\partial e}{\partial y} - w \frac{\partial e}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (K_e \frac{\partial e}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_e \frac{\partial e}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_e \frac{\partial e}{\partial z}) + P_s + P_b + \varepsilon$$

其中  $P_s$  為剪力產生項：

$$P_s = K_m \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

$P_b$  為浮力產生項：

$$P_b = -\frac{g}{\theta} K_h \frac{\partial \theta_v}{\partial z}$$

能量消散項， $\varepsilon$ ，表示成：

$$\varepsilon = a_e \frac{e^{3/2}}{l}$$

垂直渦流動能、熱量和 TKE 延散計算表示如下：

$$K_m = S_m l \sqrt{2e}$$

$$K_h = S_h l \sqrt{2e}$$

$$K_e = S_e l \sqrt{2e}$$

亂流長度尺度  $l$ ，假設為

$$l = \frac{\kappa(z+z_0)}{1 + \kappa(z+z_0)/l_\infty}$$

$$l_\infty = 0.1 \frac{\int_0^H z \sqrt{e} dz}{\int_0^H \sqrt{e} dz}$$

此處  $\kappa$  為 Von Karman constant； $z_0$  為粗糙度。且為了確保穩定(stable)，依據

Andre et. al(1978)訂定之上限如下：

$$l \leq 0.75 \left[ \frac{2e}{\left( \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)} \right]^{1/2}$$

在 2.5 階 scheme 中， $S_m$ 、 $S_h$  分別為：

$$S_m = \frac{A_1 \{1 - 3C_1 - 3A_2 [B_2(1 - 3C_1) - 12A_1 C_1 - 3A_2] G_h\}}{1 - 3A_2(7A_1 + B_2)G_h + 27A_1 A_2^2(4A_1 + B_2)G_h^2 + 6A_1^2 [1 - 3A_2(B_2 - 3A_2)G_h] G_m}$$

$$S_h = A_2 \frac{1 - 6A_1 S_m G_m}{1 - 3A_2 (4A_1 + B_2) G_h}$$

其中經驗常數採用 Mellor and Yamada(1982)：

$$\{A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, S_e, a_e\} = \{0.92, 0.74, 16.6, 10.1, 0.08, 0.20, 2^{2/3} / 16.6\}$$

## A.5 邊界條件

在 RAMS 中提供數種側向邊界條件，包括

(1) 輻射邊界條件：輻射邊界條件之方程式如下

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -(u + c) \frac{\partial u}{\partial x}$$

其中  $u$  為與邊界垂直的方向的速度分量， $c$  為相速度(phase velocity)。c 值在 RAMS 中可選擇 Orlanski(1976)或 Klemp and Lilly(1978)以及 Klemp and Wilhelmson (1977)演算法。

(2) 零梯度

(3) 固定入流/出流量。

在此一研究中速度分量採用 Klemp and Lilly(1978)法，其他變數則採用零梯度法。

至於頂部條件在本研究中採用簡單壁(simple wall,  $w=0$ )，假設配合吸收層的使用。以避免產生太大的反彈波。

## A.6 地面層參數化

在下方邊界，地面層通量(surface layer flux)提供主要的大氣和地表交換資訊，並能合適地利用數值運算結果來定義地表上方  $0.5\Delta z$  處的變數值。

計算地表層熱量及水汽進入大氣之通量是利用 Louis(1979)法。Louis 法是參考 Businger et. al(1971)函數圖形近似求得。此方法用來計算從陸地表面和水體表面、裸露土壤以及植物表面進入大氣的流通量。此流通量之計算適用於大

氣邊界層底部的次網格 (sub-grid) 中的擴散運算。

地面層通量可由下式表示：

$$u_*^2 = a^2 u^2 F_m \left( \frac{z}{z_0}, Ri_B \right)$$

$$u_* \theta_* = \frac{a^2}{R} u \Delta \theta F_h \left( \frac{z}{z_0}, Ri_B \right)$$

$$u_* r_* = \frac{a^2}{R} u \Delta r F_h \left( \frac{z}{z_0}, Ri_B \right)$$

$$\text{其中 } a^2 = \frac{k^2}{\left( \ln \frac{z}{z_0} \right)^2}$$

$$\text{不穩定時, } F = 1 - \frac{b Ri_B}{1 + c |Ri_b|^{1/2}}$$

$$\text{穩定時, } F = \frac{1}{(1 + b' Ri_b)^2}$$

經驗上  $F_m$ 、 $F_h$  式子中，常數  $b$  和  $b'$  分別設為 9.4 和 9.7，而常數  $c$  可表示成

$$c = C^* a^2 b \left( \frac{z}{z_0} \right)^{1/2}$$

$C^*$  在  $F_m$ 、 $F_h$  式子中分別設為 7.4 和 5.3。

垂直方向之熱、水氣、和動量通量，必須由地表溫度和濕度來決定；在 RAMS 模式中，將地表分為水面和陸地，而陸地又分為裸露土壤和植物覆蓋兩種，在各種情況下溫度和濕度的計算方法說明如下。

水面溫度在整個模擬過程中均假設為非時變，由使用者所輸入的海水表面溫度求出；而表面濕度則假設為飽和，由表面壓力和水溫求出。

對於裸露土壤 RAMS 使用多層土壤模式 (Tremback and Kessler, 1985)，此種方法改良自 Mahrer and Pielke (1977) 和 McCumber and Pielke (1981)，由於不需疊代 (iteration) 計算，故可減少計算時間。

裸露土壤表面溫度 $\theta_g$ 則由能量平衡求出(Mahrer and Pielke, 1977)。在

RAMS 中利用下列能量平衡方程式求出地面溫度

$$C_s \Delta z_g \frac{\partial \theta_g}{\partial t} = \alpha R \downarrow + R \downarrow - \sigma T + \rho C u_s \theta_s + \rho L u_s r_s - C \lambda \frac{\partial \theta_g}{\partial z} \Big|_g$$

上式中考慮地表淨輻射量、空氣和地表間之可感熱通量(sensible heat flux)和蒸發熱通量(latent heat flux)、及進入土壤之熱通量，求出地表溫度。

至於植物覆蓋區域則採用大葉法(Big leaf method)求出各通量此法與上述裸露地表計算方法類似但地表能量平衡方程式變為

$$C_s \Delta z_g \frac{\partial \theta_g}{\partial t} = \alpha R \downarrow + R \downarrow - \sigma T + \rho C u_s \theta_s + \rho L u_s r_s - C \lambda \frac{\partial \theta_g}{\partial z} \Big|_g$$

若一網格內有不同地表則採用面積加權求出平均垂直通量可以下列方程式表示

$$u_s^2 = f_w (u_s^2)_w + f_g (u_s^2)_g + f_{veg} (u_s^2)_{veg} + f_s (u_s^2)_s$$

$$u_s \theta = f_w (u_s \theta)_w + f_g (u_s \theta)_g + 2LAI f_{veg} (u_s \theta)_{veg} + f_s (u_s \theta)_s$$

$$u_s q_s = f_w (u_s q_s)_w + f_g (u_s q_s)_g + 2LAI f_{veg} (u_s q_s)_{veg} + f_s (u_s q_s)_s$$

上式中下標  $w$ 、 $g$ 、 $veg$ 、 $s$  分別代表水、裸露土壤、植物和遮蔽土壤， $f$  為各種地面所佔比率， $LAI$  為葉面積指標，代表垂直方向平均葉片數目。 $f_{veg} = f_s$ ，

$$f_w = 1 - f_g - f_{veg}$$

## A.7 對流參數化

對流參數化(Convective parameterization)為中尺度氣象模式中最重要之影響因素之一，然而這個卻也是最複雜和難以解決的問題。當水平格點間距大於 50-60km 時，在對流性不穩定的格點可以採用積雲參數化模式，對流性穩定的格點則採用顯性(explicit)的冷凝法。當水平格點間距小於 3km 時，對流現象已能加



以解析，因此可採用顯性的積雲物理模式。目前較大的問題是水平格點間距為 3-50km 時，無法使用上述方法，一般建議此一範圍採用混合法。然 RAMS3b 尚未安裝此法，因此目前的模擬在最粗的網格中採用郭氏(Kuo schem)的積雲參數化，其他較細的網格則不使用積雲參數化模式。

## A.8 輻射參數化

輻射參數化中包含有短波及長波輻射，短波輻射模式方面包含晴空分子之散射、吸收(Yamamoto, 1962)、臭氧吸收(Lacis and Hansen, 1974)，雲層的反射、吸收(Stephens, 1978)，晴空及多雲下之混合層近似(Stephens, 1977)。長波輻射模式包含晴空放射(Rodgers, 1967)、雲層的放射(Stephens, 1978)，同時亦包含有水汽(Jacob et al., 1974)及二氧化碳(Kondrat'yev, 1969)的吸收和放射波段。此一研究採用 Chen and Cotton (1982, 1987)方法，因為此方法考慮雲的效應。

## A.9 雲物理

在雲物理方面，包括雲雨的轉換、蒸發、沈降及冰晶核化等微物理過程(Cotton et al., 1982)。關於雲微物理參數化，建議在水平網格小於 20km 以下使用，因為在此網格尺度下不具有適當之對流調整參數化方法，RAMS 提供之方法中包含有暖雲過程之雲水含量、雨滴蒸發及昇華過程(Tripoli and Cotton, 1980)，方可加上冰相過程(Cotton et al., 1982)，而冰相過程亦可選擇其複雜程度，例如冰晶的淞化、斷裂，...等機制。雲微物理過程可依所需做不同複雜程度上調整。

## 期中報告審查意見

審查意見	說明
國內南北地區光化學反應前趨物之排放特性為本研究重點，期末報告宜作深入分析。	遵照辦理，見第五章
南北地區個案分析結果可參考國內其他教授的研究成果作相對比較。	遵照辦理。
宜建立本土化的 $\text{NO}_x$ 、HC 與 $\text{O}_3$ 生成間之相關模式及等濃度曲線	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 前趨物和 <math>\text{O}_3</math> 生成間之關係已用 OSAT 加以評估</li> <li>● 要建立單一的模式恐怕很難目前只能依個案討論</li> <li>● 等濃度曲線待模式調校完成，於期末報告定稿中會附上。</li> </ul>

## 期末報告初稿審查意見

審查意見	說明
未以獨立章節說明「研究成果對空氣污染防治之具體貢獻或應用之可行性分析」，請補充。	遵照辦理，見第八章
報告書請以雙面印刷。	遵照辦理。
第一章將預期目標及工作項目予以明確條列化，結論與建議章節宜針對上述內容逐一作答覆。	遵照辦理，請見 1-5 頁及第七章。
本報告缺研究方法敘述，研究方法中宜將上述工作內容或項目，以流程圖表示之。	對整個計劃的工作流程已補充於圖 1-1，各子題(如：氣象、排放量推估等)之研究方法請參考各相關章節之說明。

<p>本報告研究文獻僅以短文納入 1.2 節中，待強化或修正；確認文獻回顧引用文章與參考資料所列內容之一致性；重要文獻宜在結果與討論中相互比對。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究文獻除在 1.2 節討論外，各子題之相關文獻也都在各章之第一節中加以討論。</li> <li>2. 參考資料所列之文獻在報告中均有引用，報告中引用的資料在參考文獻中也都有列出。</li> <li>3. 重要結果已盡量和前人研究比較，如：5.4，6.6 等。</li> </ol>
<p>本報告係以 1996 年資料作案例探討，對 2000 年或 2001 年之現況資料解釋將有所不同，推論結果如何應用於目前？</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在 2000 年或 2001 年之排放量將與 1996 年不同，如果我們使用現況資料，此一計畫的推論可能會有所改變，但除非有大型開發計畫否則改變應不致太大。</li> <li>2. 我們還是可由本計畫中了解應由何處降低何種污染物較有效果；也可以知道要降低多少排放量才行。</li> <li>3. 如有新污染源資料利用此一系統也可很快重新評估。</li> </ol>
<p>表 5-1 統計分析資料之年代是否與前 1996 年相同？是否可建立 <math>O_3=f(NO_x, VOC, \dots)</math> 之推估模式或 <math>O_3</math> isopleth？</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 表 5-1 之排放資料為 1996 年之統計。</li> <li>2. 要建立所建議之推估模式十分困難，我們在文獻上也沒見過</li> <li>3. <math>O_3</math> isopleth 已補充於 6-6 節。</li> </ol>
<p>有關本計畫分析所得之結果顯示，生物源 VOCs 物質排放對光化學反應之影響較小，其排放量推估請補充說明。</p>	<p>已說明於 5-3 節</p>
<p>本計畫結果顯示，光化學反應之前趨物質排放與空間時間之關聯性相當大，但是光化學品質模式之假設及參數設定並不易掌握，因此相關經驗之說明及建議，亦可彙集於本計畫報告之撰寫之內容中，以作為未來執行相關分析工作之參考。</p>	<p>報告中對於資料來源和所用演算方法等均有說明，如表 2.2，表 4.2-4.4，表 5.3 等。</p>